



**MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET DE LA COHÉSION
DES TERRITOIRES**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

**Direction générale des infrastructures,
des transports et des mobilités**



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



ANFR

AGENCE NATIONALE DES FRÉQUENCES

**Agence nationale
des fréquences**

**Guide de sensibilisation des acteurs
du transport maritime & fluvial
et des opérations portuaires
aux risques de brouillage du GNSS
(GPS, Galileo, Glonass, Beidou, etc.)**



Version n°1 (édition de février 2024)

***Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires
Agence nationale des fréquences (ANFR)***

www.developpement-durable.gouv.fr

www.mer.gouv.fr

www.anfr.fr

Sommaire

	Page
1. Introduction	5
1.1. Contexte	5
1.2. Objectifs	7
1.3. Publics	8
2. Le GNSS	9
2.1. Définition et description	9
2.2. Exemples d'utilisation dans le domaine du transport maritime & fluvial et des opérations portuaires	11
2.2.1 Applications du GNSS pour la navigation et le positionnement des navires et des bateaux	12
2.2.2 Applications du GNSS pour la signalisation maritime	18
2.2.3 Applications du GNSS pour la sécurité et la surveillance de la navigation	18
2.2.4 Applications du GNSS pour le fret et les applications portuaires	19
2.2.5 Applications du GNSS pour d'autres activités liées au maritime	26
2.3. Exemples d'utilisation dans des domaines connexes	27
2.3.1 Applications du GNSS pour les réseaux de communications électroniques	28
2.3.1.1 Réseaux sans fil de communications électroniques : 2G, 3G, 4G, 5G	28
2.3.1.2 Réseaux mobiles privés de communications électroniques	29
2.3.1.3 Réseaux fixes de communications électroniques	30
2.3.1.4 Réseaux satellitaires de communications électroniques (SATCOM)	30
2.3.1.5 Réseaux de radiodiffusion	31
2.3.2 Applications du GNSS pour les réseaux et systèmes industriels	31
2.3.3 Applications du GNSS pour les actifs liés à la fourniture d'énergie	32
2.3.4 Applications du GNSS pour les drones	33
2.3.5 Applications du GNSS pour les services de météorologie	33
2.3.6 Applications du GNSS pour les systèmes informatiques	34
3. Le brouillage du GNSS	35
3.1 Définition et description	35
3.2 Causes d'un brouillage du GNSS	37
3.3 Menace de brouillages du GNSS	40
3.4 Impacts potentiels d'un brouillage du GNSS sur le domaine du transport maritime & fluvial et des opérations portuaires	41
3.4.1 Impacts potentiels sur la navigation et le positionnement des navires et des bateaux	42
3.4.2 Impacts potentiels sur la signalisation maritime	45
3.4.3 Impacts potentiels sur la sécurité et la surveillance de la navigation	46
3.4.4 Impacts potentiels sur le fret et les applications portuaires	46
3.4.5 Impacts potentiels sur les autres activités liées au maritime	47
3.5 Impacts potentiels sur des domaines connexes	47
3.5.1 Impacts potentiels sur les réseaux de communications électroniques	48
3.5.1.1 Impacts potentiels sur les réseaux sans fil de communications électroniques : 2G, 3G, 4G, 5G	48
3.5.1.2 Impacts potentiels sur les réseaux mobiles privés de communications électroniques	49
3.5.1.3 Impacts potentiels sur les réseaux fixes de communications électroniques	49
3.5.1.4 Impacts potentiels sur les réseaux satellitaires de communications électroniques (SATCOM)	49
3.5.1.5 Impacts potentiels sur les réseaux de radiodiffusion	50
3.5.2 Impacts potentiels sur les réseaux et systèmes industriels	50

3.5.3 Impacts potentiels sur les actifs liés à la fourniture d'énergie	50
3.5.4 Impacts potentiels sur les drones	51
3.5.5 Impacts potentiels sur les services de météorologie	52
3.5.6 Impacts potentiels sur les systèmes informatiques	53
3.6 Exemples de cas de brouillage du GNSS	53
3.6.1 Exemples de brouillages du GNSS traités par l'ANFR, et ayant affecté le domaine maritime, fluvial ou portuaire	53
3.6.2 Exemples de brouillages du GNSS traités par l'ANFR, et ayant affecté d'autres domaines	57
3.6.3 Exemples de brouillages du GNSS à l'étranger, ayant affecté le domaine maritime, fluvial ou portuaire	63
4. La réponse opérationnelle de l'Etat	68
4.1 Réglementation	68
4.2 Traitement des brouillages par l'ANFR, autorité en charge de la planification, de la gestion et du contrôle du spectre	69
4.3 Actions pédagogiques de prévention et de protection, menées par l'ANFR	72
4.3.1 Actions pédagogiques pour lutter contre la possession et l'utilisation illégales de brouilleurs GNSS	72
4.3.2 Actions pédagogiques pour promouvoir une bonne utilisation des fréquences, limiter les risques de brouillage et réduire leurs impacts	74
5. Les conseils pratiques aux acteurs des domaines maritime, fluvial et portuaire pour renforcer leur résilience face à la menace de brouillages du GNSS	75
5.1 Se préparer	76
5.1.1 Prendre conscience de la menace	76
5.1.2 Réaliser une analyse des risques et des impacts potentiels	76
5.1.3. Accroître sa robustesse	77
5.1.4. Développer des capacités de détection des brouillages du GNSS	78
5.1.5. Préparer un plan de continuité d'activités et un plan de reprise d'activités	80
5.1.6. Construire un plan de communication de crise	80
5.1.7. Mettre en place un processus pour alerter l'ANFR	80
5.1.8. Sensibiliser et former le personnel	81
5.2 Réagir efficacement en cas de survenance d'un brouillage du GNSS	82
5.2.1. Le détecter !	82
5.2.2. Mettre en œuvre le plan de continuité d'activité	83
5.2.3. Activer le plan de communication de crise	83
5.2.4. Alerter l'ANFR	83
5.2.5. Mettre en œuvre le plan de reprise d'activité	87
5.2.6. Faire un retour d'expériences (retex)	87
5.3 L'essentiel pour renforcer sa résilience face à la menace de brouillages du GNSS	88
Annexes	89
Liste des abréviations	89
Rappels	93
Bibliographie	97
Liens utiles	100
Remerciements	101
L'essentiel	102

1. Introduction

1.1 Contexte

Pour anticiper l'évolution des menaces numériques, la **stratégie nationale de sécurité des espaces maritimes** a identifié les axes d'efforts suivants :

- mobiliser les principaux acteurs français concernés par la sécurité des systèmes d'information du transport maritime, à terre comme en mer ;
- identifier et corriger les vulnérabilités des systèmes critiques et assurer une veille cyber-spécifique ;
- encourager la prise en compte de la cybersécurité au sein des réglementations et normes internationales ;
- inscrire cette action dans le cadre de la coopération entre alliés et partenaires européens ;
- mener une réflexion approfondie sur la résilience et les fonctionnements en mode dégradé.

De son côté, la **stratégie nationale portuaire de 2021** poursuit l'objectif stratégique (n° 15) d'assurer la résilience numérique des ports afin de préparer « les ports du futur ».

La lutte contre le brouillage des fréquences du GNSS (Global Navigation Satellite System ou systèmes de navigation par satellites tels que Galileo, GPS, Glonass et Beidou) **s'inscrit pleinement en déclinaison de ces stratégies et des travaux interministériels relatifs à la lutte contre les brouillages du GNSS** menés actuellement dans le cadre du Groupe de travail Interministériel « lutte contre les Brouillages du GNSS » (GTI LBG) piloté par l'Agence nationale des fréquences (ANFR) et associant la Direction générale des infrastructures, des transports et des mobilités (DGITM) et la direction générale des affaires maritimes, de la pêche et de l'aquaculture (DGAMPA).

Ces travaux ont en effet mis en évidence des vulnérabilités pour les acteurs maritimes, fluviaux et portuaires relativement à leurs systèmes de communication, de positionnement et de navigation qui utilisent les signaux GNSS pour la géolocalisation ou la synchronisation.

Ces systèmes sont aujourd'hui multi-connectés et utilisent de plus en plus de radiofréquences et technologies hertziennes, notamment pour la réception des signaux GNSS, ce qui offre une surface d'attaques de plus en plus étendue à des brouillages intentionnels ou non.

Avec l'émergence des navires autonomes, la sécurité des fréquences GNSS contre les brouillages que ceux-ci soient intentionnels ou non constituera un enjeu encore plus important. Ces futurs projets confèrent une dimension stratégique accrue à la maîtrise de la disponibilité et de l'intégrité des données GNSS pour la géolocalisation et la synchronisation et à leur sécurisation face aux risques de brouillage.

C'est dans ce contexte qu'il a été décidé lors du Comité interministériel de la Mer (CIMER) du 9 décembre 2019 d'améliorer la connaissance et la résilience des professionnels du secteur du transport maritime et fluvial et des opérations portuaires face à la menace de brouillages du GNSS.

30. Assurer une information et une sensibilisation des autorités portuaires et des compagnies maritimes au risque de brouillage des signaux de géolocalisation des navires

La sécurité des systèmes d'information de transmission et de positionnement du transport maritime, aujourd'hui multi connectés, est un sujet prégnant pour les ports et les compagnies maritimes.

Afin d'améliorer la résilience des professionnels de la filière maritime face à ce risque émergent, l'Agence nationale des fréquences (ANFR) accompagnera la transformation numérique des grands ports maritimes en apportant son expertise dans le domaine du brouillage mais aussi des fréquences de radiocommunication.

Figure n°1 – Extrait du dossier de presse du CIMER de décembre 2019

Source : <https://www.ecologie.gouv.fr/comite-interministeriel-mer>

En 2021, une étude de l'impact de la perte des signaux GNSS sur des activités civiles, dont le transport maritime et le transport fluvial, a été confiée à l'entreprise FDC par la Fédération de Recherche en Temps-Fréquence FIRST-TF, réseau national des acteurs de la métrologie du temps et des fréquences en partenariat avec le Ministère de la Transition Économique et Solidaire. Les conclusions de cette étude ont été présentées le 12 janvier 2022 dans un rapport public (cf. bibliographie, 1.). Cette étude a identifié, pour les domaines du transport maritime & fluvial des impacts potentiels d'un brouillage du GNSS en termes de sécurité des personnes et des biens, d'atteinte à l'environnement et de répercussions économiques.

En complément, l'amélioration du niveau de cybersécurité et de la résilience des entités critiques, incluant le secteur du transport, constituent les objectifs de deux directives récentes en voie de transposition :

- Directive « NIS2 » (Network and information security version 2, sécurité des réseaux et des systèmes d'information) du 14 décembre 2022 (UE 2022/2555) ;
- Directive « REC » (Resilience of Critical entities, résilience des entités critiques) du 14 décembre 2022 (UE 2022/2557).

Le déploiement d'une action de sensibilisation aux risques émergents liés au brouillage des signaux de radionavigation GNSS à destination des acteurs du secteur du transport maritime et fluvial et des opérations portuaires a donc été confiée aux ministères chargés des transports et de la mer, et à l'ANFR - sous la tutelle du ministère de l'économie, des finances et de la Souveraineté industrielle et numérique.

1.2. Objectifs

Le présent guide est la traduction de cette action de sensibilisation et a comme principaux objectifs de permettre aux acteurs concernés de :

- comprendre ce qu'est le GNSS et quelle place il tient dans les différentes applications maritimes, fluviales et portuaires ;
- prendre conscience de la menace de brouillage du GNSS ainsi que des risques associés ;
- accroître ses capacités de résilience face à la menace de brouillages du GNSS :
 - se préparer à la survenue éventuelle d'un brouillage du GNSS ;
 - réagir efficacement en cas de brouillage du GNSS pour réduire son impact, par des mesures opérationnelles et par l'alerte de l'ANFR.

1.3. Publics

Le présent guide s'adresse à tous les acteurs de l'écosystème du transport maritime et fluvial et des opérations portuaires, logistiques et leurs personnels, notamment ceux en charge des équipements radio et des ressources hertziennes, ceux responsables d'applications ou d'équipements utilisant des données GNSS et ceux responsables de la sécurité numérique, à savoir :

- les instances dirigeantes des ports (autorités portuaires) ;
- les exploitants d'installations portuaires ;
- les opérateurs portuaires ;
- les sociétés de transport (compagnies maritimes, personnels navigants, bateliers, compagnies ferroviaires, etc.) ;
- tous les prestataires de services indispensables aux opérations portuaires (pilotage, remorquage, manutention, etc.) ;
- les services de l'Etat (préfets de département, préfets maritimes, centres régionaux opérationnels de surveillance et de sauvetage - « CROSS », centres de sécurité des navires - « CSN », capitaineries, douanes, gendarmerie, police, procureurs, etc.) ;
- les collectivités territoriales.

2. Le GNSS

2.1. Définition et description

Le GNSS (Global Navigation Satellite System) est le système mondial de navigation par satellites. Le GNSS transmet des signaux à partir de constellations de satellites situés à plus de 20 000 km en orbite terrestre moyenne (MEO) aux utilisateurs terrestres munis de récepteurs GNSS.

Les signaux GNSS fournissent des données de positionnement et de synchronisation (PNT : Position, Navigation, Temps) aux récepteurs GNSS.

Plusieurs systèmes de navigation par satellites existent, notamment le système américain GPS, le système européen Galileo, le système russe Glonass et le système chinois Beidou.

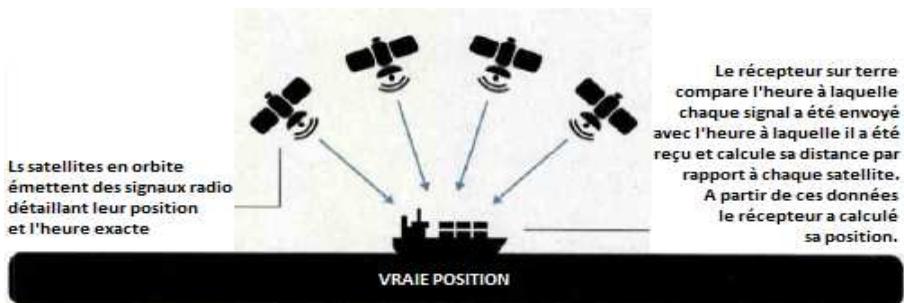


Figure n°2 – Comment fonctionne le GNSS

Source : visuel (traduit) issu de la revue Fortune, 1^{er} février 2020, « *When GPS gets lost. The maritime shipping industry wouldn't be the behemoth it is today without satellite navigation. that's why a rising tide of mysterious GPS outages is a disaster waiting to happen* », (« Quand le GPS se perd. L'industrie du transport maritime ne serait pas le géant qu'elle est aujourd'hui sans la navigation par satellites. C'est pourquoi la vague de perturbations inexplicables du GPS est un désastre imminent »), Katherine Dunn.

Les données fournies par le GNSS permettent de se positionner avec précision et de se synchroniser sur une référence de temps (heure universelle et locale).

Elles sont utilisées par de très nombreuses activités tant économiques ou sociales que régaliennes parmi lesquelles :

- les transports (terrestres, fluviaux, aériens ou maritimes) ;
- les services de secours aux victimes ;
- la sécurisation des échanges de marchandises ;
- les services de téléphonie et d'internet mobiles (2G, 3G, 4G, 5G, 6G à venir) ;
- les réseaux VHF ;
- les réseaux mobiles professionnels privés (PMR) ;
- les services de radiodiffusion ;
- les réseaux et systèmes industriels (IIoT : Industrial Internet of Things ou Internet Industriel des Objets, smart ports 4.0, industrie 4.0) ;
- les drones ;
- les réseaux de transport et de distribution d'énergie ;
- les systèmes informatiques, le cloud computing et les data centers ;
- les transactions bancaires.

La disponibilité et l'intégrité des données GNSS revêtent un caractère crucial pour la disponibilité et la continuité de ces services.



Figure n°3 – Domaines utilisant le GNSS de manière critique

Source EUSPA (European Union Agency for the Space Programme, Agence de l'Union européenne pour le programme spatial)

Les signaux GNSS sont véhiculés sur des bandes de fréquences dédiées. Ces fréquences, en bande L, sont présentées dans le schéma ci-dessous.

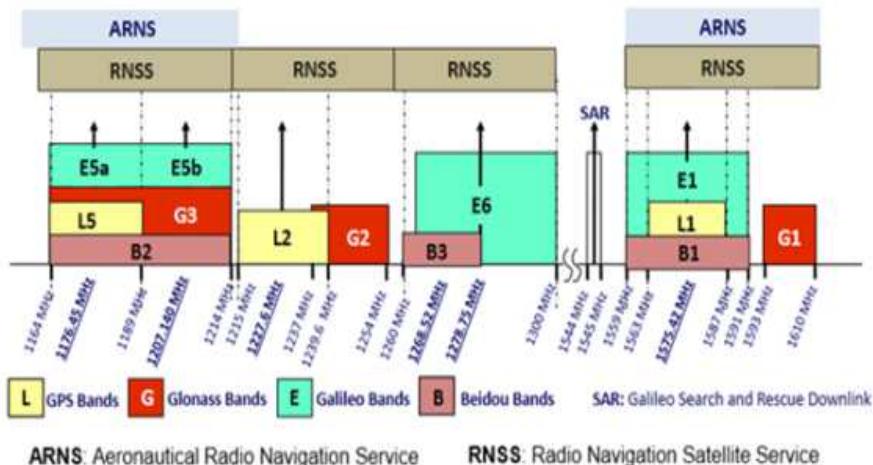


Figure n°4 – Spectre des fréquences du GNSS

Source : http://www.gape.upc.edu/gnss_book

En France, les affectataires des fréquences GNSS sont l'aviation civile (DGAC), l'Espace (CNES) et le Ministère des armées. Les usages du GNSS concernent tout le monde.

2.2 Exemples d'utilisation des signaux GNSS dans le domaine du transport maritime & fluvial et des opérations portuaires

Dans le domaine du transport maritime & fluvial et des opérations portuaires, les signaux GNSS sont utilisés pour la géolocalisation ou la synchronisation de nombreux systèmes et applications

Selon la distinction évoquée par la Résolution de l'Assemblée de l'Organisation maritime internationale - « OMI » A.915(22) du 29 novembre 2001, les signaux GNSS pour la localisation et la synchronisation sont utilisés en mer et sur les voies navigables intérieures par des applications de navigation et de positionnement des navires et bateaux² A quoi s'ajoutent le cas particulier de l'AIS ainsi que des applications pour d'autres services non spécifiquement maritimes, fluviaux ou portuaires, tels que les réseaux de communications électroniques (réseaux mobiles, réseaux mobiles professionnels TETRA, réseaux pour la connexion d'objets et de capteurs et l'industrie 4.0), transports terrestres, transports aériens, drones, réseaux de transport et de distribution d'énergie, applications de météorologie, systèmes informatiques, etc.).

1 Chapitre établi à partir notamment des sources suivantes : « Étude d'impact de perte de signaux GNSS », FDC, 2022 & « Market report issue », EUSPA, 2019.

2.2.1 Applications du GNSS pour la navigation et le positionnement des navires et des bateaux

Pour la navigation maritime (côtère et hauturière), les signaux GNSS sont utilisés notamment pour :

- **connaître sa position,**
- **éviter les collisions,**
- **corriger le taux de giration** donné par le gyrocompas ,
- **affiner la précision de pointage d'antennes directives de communications par satellites,**

même si les **moyens secondaires de navigation** restent très nombreux (radar, sondeur, moyens de navigation astronomique alidades et relèvements (phares, bouées).

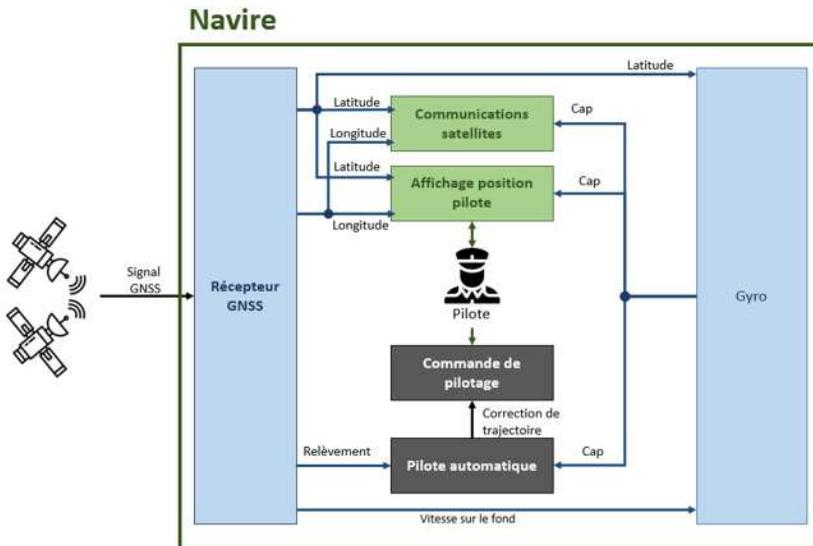
Pour la surveillance du trafic et l'évitement des collisions, plusieurs systèmes et applications utilisent le GNSS, tels que :

- **les systèmes anti-collision** (Automatic Radar Plotting Aid - « ARPA » ou aide de pointage radar automatique) ;
- **le système d'identification automatique (Automatic Identification System - « AIS ») ou le système d'identification et de suivi à longue distance (Long Range Identification and Tracking- « LRIT ») ;**
- **les stations Météo à bord des navires.**



Figure n°5 - Architecture présentant l'utilisation du GNSS sur une passerelle de navire.

Source DGAMPA



Note : le relèvement désigne l'angle entre le nord magnétique et un point caractéristique utilisé pour la navigation (ex : un amer est un point caractéristique à terre qui est porté sur une carte de navigation)

Figure n°6 - Utilisation du GNSS pour la navigation maritime –

Source : étude FDC

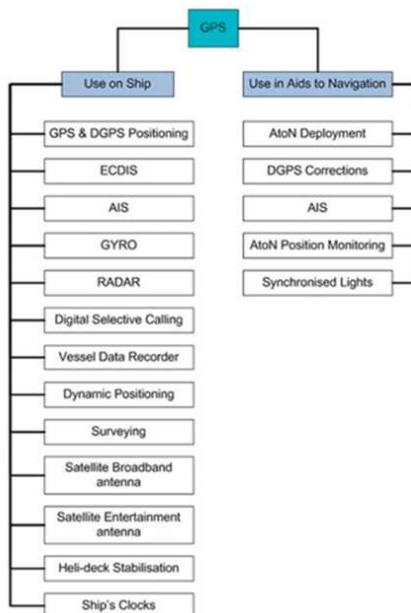


Figure n°7 - Utilisation du GNSS dans les systèmes maritimes

Source : « Developments in radio navigation systems », Michael Hoppe, Rainer Strenge, PIANC-World Congress Panama City, 2018

Focus sur l'utilisation des données GNSS par l'AIS

L'AIS (Automatic Identification System ou système d'identification automatique) est un système de communication qui permet l'échange automatique de données de navigation entre deux navires ou entre un navire et les autorités côtières. L'AIS utilise deux canaux VHF (Very High Frequency) dédiés (161,976 MHz et 162,025 MHz).

L'AIS permet in fine de :

- réduire les risques de collision entre navires ;
- améliorer la gestion du trafic ;
- communiquer aux autorités ;
- récolter les informations de trafic maritime ;
- échanger des informations sécurisées entre les navires ou avec les stations côtières ;
- aider à la navigation (AtoN, Aid to navigation : balisage AIS physique ou virtuel sur des phares ou des bouées).

Pour fonctionner correctement, l'AIS a besoin de recevoir les données de localisation et de synchronisation véhiculées par les signaux GNSS.

Les données de géolocalisation sont utilisées directement dans les informations échangées via l'AIS, relatives à la position et à la trajectoire du navire.

Les données de référence de temps sont utilisées pour la synchronisation des communications sur le réseau AIS. Chaque AIS est synchronisé sur le temps GNSS et à cet effet connecté à un récepteur GNSS. Dans le cas d'un AIS de classe A, l'horloge est généralement synchronisée grâce au signal PPS délivré par un récepteur GNSS. Les données de temps permettent de répondre à un besoin de synchronisation fine qui résulte du fait que le fonctionnement des communications AIS est basé sur le partage de fréquences. L'AIS utilise en effet des techniques d'Accès Multiples à Répartition de Temps (« AMRT », cf. « TDMA » en anglais) qui permettent de diviser le canal de communication AIS en différents créneaux pour éviter que les communications de deux AIS proches ne s'interfèrent.

De plus, la synchronisation en fréquence des émetteurs-récepteurs de l'AIS doit être extrêmement précise et à cet égard la référence de temps utilisée par chaque émetteur-récepteur doit être identique.

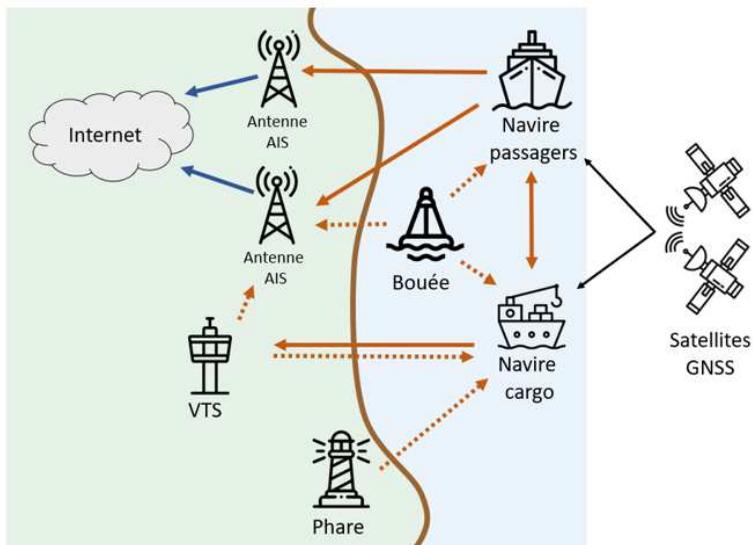


Figure n° 8 - Utilisation du GNSS par l'AIS - Source : étude FDC

Cette figure schématise les échanges réalisés par l'AIS. Les flèches pleines représentent les communications transmettant ou recevant de l'information GNSS.

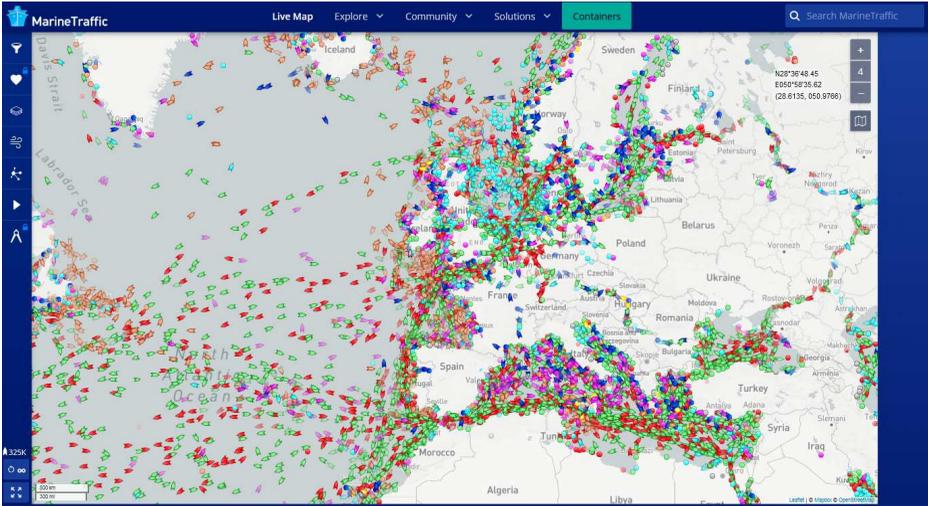


Figure n° 9 - Extrait de « Marine Traffic », 21 juillet 2023

Pour les navires autonomes, dès à présent, les signaux GNSS sont essentiels pour permettre aux navires autonomes de **naviguer de manière sécurisée**, quel que soit le degré d'autonomie ou la phase de navigation (océan ou côtier) :

- notamment pouvoir **éviter les zones non navigables ou soumises à une mauvaise météo** ;
- et **réaliser des manœuvres d'évitement en cas de risque de collision avec des navires**.

Les données GNSS sont également utilisées pour :

- permettre la **télé-opération des navires concernés** ;
- et notamment aider au fonctionnement de la **communication avec l'opérateur à distance**. Cette communication s'effectuant principalement via satellites, les informations fournies par le GNSS sont utilisées pour le **traçage du satellite de communication** et **régler la direction de l'antenne de communication vers ce satellite**.

Plusieurs degrés d'autonomie sont à considérer pour les Maritime Autonomous Surface Ship (MASS = navire de surface autonome maritime).

Ces navires peuvent, à des degrés variés, opérer indépendamment de l'interaction humaine :

- avec des processus automatisés et des systèmes d'aide à la décision et des marins à bord pour opérer et contrôler les systèmes embarqués ;
- navire contrôlé à distance avec des marins à bord ;
- navire contrôlé à distance sans marins à bord ;
- navire complètement autonome

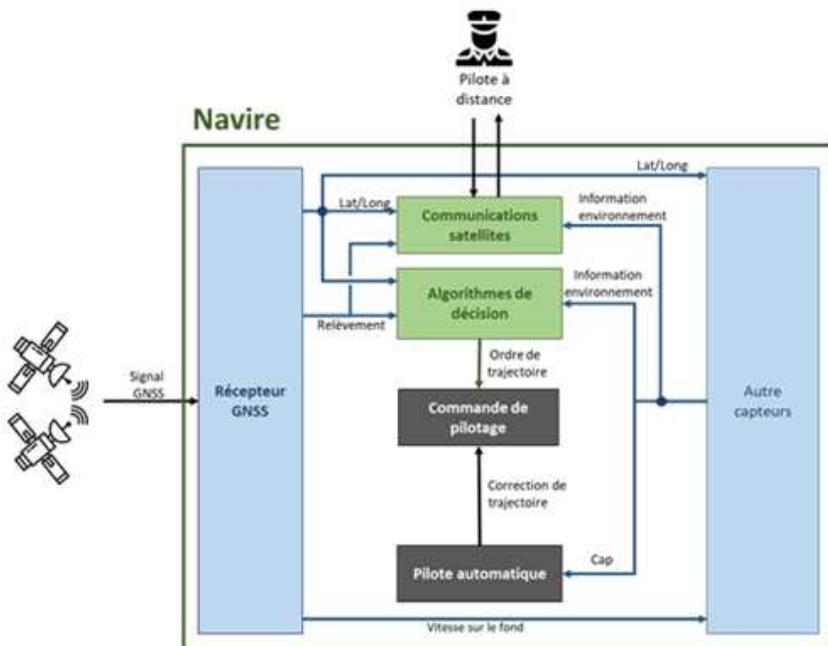


Figure n°10 - Utilisation de l'information GNSS par les navires autonomes

Source : étude FDC

Pour la navigation intérieure (fluviale), le GNSS est utilisé par le système de navigation électronique ECDIS (Electronic Chart Display Information System) et les systèmes anti-collision, en appui des aides visuelles qui restent le moyen primaire de navigation.

2.2.2 Applications du GNSS pour la signalisation maritime

En matière d'aide à la navigation, cf. le domaine de la signalisation maritime (phares et balises), plusieurs applications et systèmes utilisent le GNSS, notamment pour :

- **la synchronisation ou le séquençage du rythme des feux**, afin d'accroître la perception de la situation spatiale par les marins en améliorant la visibilité globale des feux, notamment dans les zones urbaines présentant un fond lumineux (cf. IALA³ Guideline G1116) ;
- **l'AIS de balisage**, ou AIS AtoN (Aid to Navigation / aide à la navigation), qui permet d'une part d'améliorer le service de signalisation rendu à l'utilisateur, et d'autre part de transmettre aux opérateurs du balisage des paramètres de fonctionnement des aides à la navigation ;
- **les stations de correction différentielle des signaux GNSS** qui transmettent aux usagers de la mer des informations permettant d'améliorer la précision du positionnement et de contrôler l'intégrité des signaux GNSS reçus à bord ;
- **le positionnement des corps morts** des bouées de signalisation maritime ;
- **le positionnement dynamique des navires des phares et balises** ;
- **la télésurveillance de la position des bouées de signalisation maritime** ;
- **le pilotage des automates qui gèrent l'allumage et l'extinction des feux** ;

2.2.3 Applications du GNSS pour la sécurité et la surveillance de la navigation

Parmi ces applications, on peut mentionner celles permettant, en mer comme sur les voies navigables intérieures (rivières, canaux, lacs et estuaires) :

- **la surveillance du trafic et l'évitement des collisions** : ces activités sont prises en charge par des systèmes basés sur les signaux GNSS, notamment s'agissant des systèmes anti-collision ARPA (Automatic Radar Plotting Aid, ou aide de pointage radar automatique), tels le système d'identification automatique AIS ou celui d'identification et de suivi à longue distance LRIT (cf. 2.2.1) ;

³ International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities

- **la recherche et le sauvetage** : ces activités peuvent recourir à différents types d'appareils utilisant le positionnement GNSS dans le cadre du **SMDSM** (Système Mondial de Détresse et de Sécurité en Mer). Ces appareils utilisent différents moyens de communication, satellitaires et terrestres, sur diverses bandes de fréquences, pour transmettre, une fois activés, les informations nécessaires pour la recherche et le sauvetage des personnes et navires en détresse. Par exemple :
 - **la VHF-ASN et la MF-HF-ASN** : alertes de détresse en appel sélectif numérique (ASN ou DSC, Digital Selective Calling, en anglais) ;
 - **les balises de localisation des sinistres COSPAS-SARSAT** : radiobalises de localisation (**EPIRB** : Emergency Position Indicating Radio Beacon), balises de localisation personnelle (**PLB** : Personal Location Beacon) ;
 - **les transpondeurs AIS de recherche et de sauvetage (AIS-SART** : AIS–Search And Rescue Radar Transponder) et AIS Homme à la mer (AIS-MOB : AIS-Man Over Board) ;
- **l'enregistrement des données dans le VDR (Voyage Data Recorder : boîte noire)** ;
- **le contrôle des navires de pêche (VMS (Vessel monitoring System ou Système de surveillance des navires)** : le positionnement GNSS permet aux systèmes de surveillance de vérifier la position des navires de pêche, ainsi que le temps passé dans les eaux internationales et étrangères et les zones marines protégées, etc.

2.2.4. Applications pour le fret et les applications portuaires

Pour la surveillance et la sécurité du fret et des opérations portuaires, plusieurs applications et systèmes utilisent le GNSS, notamment pour :

- **la progression sécurisée du transit** (marchandises, logistique des conteneurs, flottes de navires, matières dangereuses, etc.), y compris lors de son transfert vers les autres modes de transport (ferroviaire, fluvial, routier) ;
- **les opérations d'accostage et de chargement-déchargement** qui sont suivies en temps réel par les opérateurs de transport via des technologies basées sur le GNSS pour des informations de position, de vitesse et de direction.

Memo - Le transport maritime et fluvial des matières dangereuses en France est très réglementé par :

- l'OMI dans le domaine maritime,
- l'accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par voies de navigation intérieures (ADN) dans le domaine fluvial,
- le Règlement pour le transport et la manutention des marchandises dangereuses dans les Ports Maritimes (RPM) dans le domaine du transport et la manutention portuaire. Selon le RPM, les marchandises dangereuses se doivent d'être localisées en permanence lorsqu'elles sont stockées dans les ports.

De nombreux systèmes, dispositifs et réseaux industriels participent aux opérations de surveillance et de sécurité du fret ainsi qu'à d'autres opérations portuaires (cf. figures 11 et 12) et peuvent nécessiter des données GNSS pour leur bon fonctionnement (voir paragraphe 2.3).

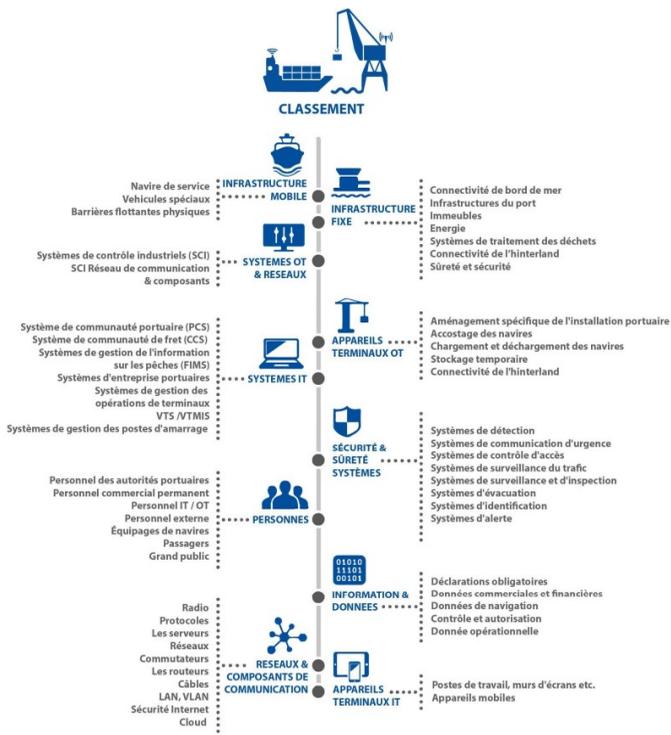


Figure n° 11 – Aperçu des principales catégories d'actifs que l'on peut trouver dans un port - Source ENISA (Agence de l'Union européenne pour la cybersécurité)

Liste de systèmes, réseaux et dispositifs utilisés pour des opérations portuaires

Systèmes et réseaux industriels	
Systèmes de contrôle industriel (ICS)	Systèmes permettant de gérer l'accès au port et l'accostage des navires (ponts, écluses, portes, etc.), l'infrastructure portuaire (bâtiments, etc.), les opérations terminales (grues, stockage, etc.) et composés des composants suivants : automates et analyseurs (contrôleurs logiques programmables « PLC », unité terminale distante « RTU »), bases de données (Historian, MES (Système d'Exécution de la Fabrication), etc.), systèmes de supervision (système de contrôle distribué « DCS », contrôle de supervision et acquisition de données « SCADA »), interface homme-machine « IHM » / postes de travail (consoles de programmation, poste de travail d'ingénierie), systèmes de maintenance et Systèmes instrumentés de sécurité (SIS).
Réseaux et composants de communications ICS	Actifs gérés par le port pour assurer les communications entre les composants ICS : commutateurs (gérés et non gérés), points d'accès sans fil, protocoles, systèmes d'alimentation (eau, électricité, etc.)
Dispositifs OT (Operational Technology) END	
liés à un aménagement spécifique de l'installation portuaire	Dispositifs terminaux de l'ICS liés à l'aménagement spécifique de l'installation portuaire : clôture spécifique et contrôle d'accès, équipement de sûreté et de sécurité spécifique, équipement de première intervention, salle opérationnelle spécifique, etc.
liés à l'accostage des navires	Dispositifs terminaux de l'ICS liés à l'accostage des navires portuaires : le bateau, les systèmes de gestion des postes d'amarrage, les équipements spécifiques d'inspection et de contrôle, etc.
liés au chargement et au déchargement des navires	Dispositifs terminaux OT utilisés pour charger et décharger les navires : équipements et systèmes de manutention spécifiques au terminal (grues, rampes pour passagers, pipelines, tapis, convoyeurs, etc.), suivi du fret spécifique aux terminaux systèmes (codes à barres, compteurs de liquide, identification par radiofréquence « RFID », scellés, balances, etc.), scanners de badges ou de billets, systèmes de lecture de plaques, détecteurs de défauts dans les systèmes de chargement / déchargement automatisés (fuites, chocs, bourrage, etc.)
liés au stockage temporaire	Dispositifs terminaux OT utilisés une fois la cargaison ou les conteneurs hors du navire, et temporairement stockés dans les zones portuaires : systèmes de transport interne (chariot enjambeur, cour, camion, châssis, etc.), systèmes d'équipement de stockage (rayonnages à palettes, tankage, etc.), des magasins réfrigérés et non refroidis, des silos, des réservoirs, des interrupteurs (gérés et non gérés) pour les tuyaux et les bandes transporteuses, des points d'accès sans fil pour les scellés « intelligents » et les dispositifs d'auto-localisation des conteneurs, etc.

<p>liés à la connectivité avec l'hinterland, le fret, les conteneurs, les véhicules ou les passagers</p>	<p>Dispositifs terminaux utilisés pour contrôler le fret, les conteneurs, les véhicules ou les passagers et les inspecter, puis les transporter vers d'autres systèmes de transport : systèmes de contrôle et d'inspection (scanners, systèmes d'inspection, rayons X), gare ferroviaire, gares de triage des wagons, plates-formes de transport multimodal pour les personnes (passagers, travailleurs, etc.), installations portuaires intérieures, équipements de contrôle des portes portuaires (lecture de plaques, badges, lecture de codes-barres, détecteurs).</p>
---	--

Systèmes informatiques

<p>Port Community System (PCS)</p>	<p>Système, généralement détenu et géré par l'autorité portuaire ou les parties prenantes du port, de plus en plus organisé, comme un système de guichet unique pour partager les informations sur les opérations portuaires liées aux navires entre toutes les parties prenantes du port (date d'arrivée ou de départ du navire données par les compagnies maritimes, déclarations obligatoires telles que la liste de l'équipage, les déclarations de marchandises dangereuses, les réservations de services de navire, etc.). Ils visent à faciliter la gestion des escales des navires au moyen de la digitalisation des formalités administratives.</p>
<p>Cargo Community System (CCS)</p>	<p>Système, généralement détenu et géré par les parties prenantes du port qui sont généralement des sociétés privées en charge des opérations du terminal portuaire, permettant de partager des informations sur les opérations portuaires liées aux marchandises, à la cargaison et aux conteneurs entre tous les acteurs impliqués (contenu de la cargaison, localisation d'un conteneur, heure de son transfert, déclarations en douane, etc.).</p>
<p>Systèmes d'entreprise portuaires</p>	<p>Systèmes composés de différentes applications, systèmes, postes de travail et serveurs, communs à toutes les entreprises : finances, ressources humaines (RH), systèmes de communication et de réseaux, systèmes d'e-mailing, systèmes de vente et de marketing (ERP), etc.</p>
<p>Systèmes de gestion des opérations de terminaux</p>	<p>Systèmes de gestion des opérations de terminaux, généralement détenus, utilisés et entretenus par des opérateurs de terminaux privés, principalement composés de différents systèmes : des systèmes d'exploitation d'entreprise pour planifier et gérer la logistique et les opérations (ERP, CRM, etc.), des systèmes industriels spécifiques aux opérations des terminaux (grues, etc.), des systèmes d'exploitation des terminaux (TOS) utilisés pour optimiser les systèmes de logistique, de transbordement et de stockage.</p>
<p>Suivi du trafic maritime (VTS) / Système d'Information de Gestion du Trafic des Navires (VTMIS)</p>	<p>Systèmes de surveillance du trafic maritime (pour le VTS), intégrant le cas échéant par extension (VTMIS) d'autres informations et fonctionnalités pour augmenter l'efficacité des opérations portuaires (allocation des ressources, etc.).</p>

Systèmes de gestion des postes d'amarrage	Systèmes utilisés par les autorités portuaires pour gérer et assurer la sécurité des processus d'amarrage : avertissements et alertes, données météorologiques, flux de caméras vidéo, gestion de l'attribution des postes d'amarrage, etc.
<u>Appareils IT END</u>	
Postes de travail des terminaux informatiques	Différents postes de travail sont utilisés dans les ports : systèmes informatiques dédiés aux systèmes industriels, à la maintenance, aux postes mobiles et fixes, etc.
Appareils mobiles	Différents appareils mobiles sont utilisés dans les ports : smartphones, tablettes, radios terrestres à ressources partagées « TETRA », appareils spécifiques utilisés pour la logistique (numérisation, etc.) etc.
<u>Réseaux et composants de communication</u>	
Radio	Systèmes radio (identification par radiofréquence « RFID », VHF, etc.) utilisés pour de nombreux processus portuaires : communication avec les navires, opérations de sûreté et de sécurité, gestion logistique, etc.
Protocoles	Protocoles utilisés pour échanger des informations : EDI, API, protocoles d'authentification , etc.
Serveurs	Serveurs utilisés dans les ports pour différentes finalités : serveurs Web, serveurs d'applications, serveurs proxy, serveurs de messagerie, serveurs virtuels, imprimantes, etc. Réseaux Différents réseaux sont installés dans les ports : radios VHF (Internet, WiMAX / WIFI, Satellite, réseaux ad-hoc, VLAN / LAN, etc. Ils peuvent être gérés par différentes parties prenantes à différents niveaux.
Commutateurs, routeurs, concentrateurs	Composants utilisés pour transmettre des paquets de différentes manières entre différents réseaux.
Sécurité du réseau	Systèmes de protection du réseau, pare-feu, IPS / IDS, infrastructure à clé publique « PKI » / authentification multifacteur « MFA », antivirus, information sur la sécurité et gestion des événements « SIEM » et d'autres solutions de sécurité sont installés dans les zones portuaires.
Cloud	Solutions cloud pour héberger certaines données, par exemple des mels et partager des fichiers.
<u>Systèmes de sûreté et de sécurité</u>	
Systèmes de contrôle d'accès	Portails automatiques, systèmes de clôtures intelligentes, systèmes de badges, systèmes de surveillance et de comptage des accès.
Systèmes de détection	Vidéoprotection, systèmes de gestion des incidents, systèmes de centre de première intervention, systèmes de détection d'intrusion (IDS), des systèmes de détection des comportements anormaux.
Systèmes de surveillance du trafic	Systèmes de surveillance radar et électro-optique, les systèmes de surveillance de la circulation des trains et des camions.

Systèmes de surveillance et d'inspection	Personnel de surveillance et de gardiennage, équipes cynotechniques, patrouilles véhiculées, détecteurs (incendies, fuites de gaz, nucléaire, etc.), scanners à rayons X.
Systèmes d'identification et d'authentification	Systèmes biométriques, terminaux portables de contrôle d'identité, reconnaissance faciale.
Systèmes d'alerte	Sirènes et haut-parleurs.
Systèmes d'évacuation	Guidage de sortie, points de rassemblement, écrans de guidage, portes de secours.
Systèmes de communication d'urgence	
Infrastructures fixes	
Connectivité maritime	Actifs liés à la navigation entre le bord de mer et la zone portuaire pour garantir que les navires peuvent entrer et sortir du port : brise-lames, écluses de mer, bouées, balises lumineuses, marquage des voies navigables, marée, surveillance du vent et des courants, surveillance radar des cours d'eau.
Infrastructure portuaire	Actifs liés à l'amarrage des navires dans le port (quais, jetées), l'éclairage, le contrôle d'accès (portails, systèmes de lecture de plaques, détecteurs) et le transport à l'intérieur des zones portuaires (routes, chemins de fer, voies navigables, chemins piétonniers).
Bâtiments	Bâtiments portuaires hébergeant les différents bureaux liés aux services portuaires (bureau du maître de port, bureau de douane, etc.) et centres de données hébergeant tous les systèmes informatiques et OT.
Energie	Actifs liés à la fourniture d'énergie pour l'écosystème portuaire (bâtiments, navires, etc.) : réseau électrique (à haute tension pour les grands ports), soutage et stations de livraison d'eau douce, canalisation, carburant, essence, etc.
Systèmes de traitement des déchets	Déchets gérés par le port mais également déchets des navires (déchets solides tels que plastique, papier, verre, déchets alimentaires et liquides tels que eaux de cale, boues et eaux usées).
Connectivité de l'hinterland	Atouts de connectivité de l'arrière-pays dont dispose le port, en tant qu'interface entre la mer et les systèmes de transport de l'arrière-pays, tels que les gares et les systèmes de chargement et d'expédition du matériel roulant, les infrastructures routières, les stations intermodales, les canaux et les infrastructures portuaires reliant les voies navigables intérieures.
Sûreté et sécurité	Infrastructures dédiées à la sûreté et à la sécurité : tour de contrôle, salle d'opération, centre de sécurité, installations de premiers secours (lutte contre l'incendie, pollution, confinement, voies d'évacuation, installations médicales, etc.).

<u>Infrastructures mobiles</u>	
Navires de service portuaires	Navires dédiés à la fourniture des services spécifiques sur l'eau aux navires : bateaux-pilotes, remorqueurs, aide à l'embarcation et à l'amarrage, navires de ravitaillement, navires de sécurité, navires d'inspection et de sécurité.
Véhicules spéciaux	Véhicules du port fournissant des services intérieurs : lutte contre les incendies, ambulance, unités mobiles de contrôle du fret, etc.
Barrières flottantes physiques	Barrières flottantes physiques utilisées par le port pour protéger d'autres navires et zones portuaires critiques, pour contenir les pollutions et d'autres usages, le port peut utiliser.
<u>Informations et données</u>	
Déclarations obligatoires	Déclarations obligatoires pour qu'un navire pénètre dans la zone portuaire, conformément aux réglementations internationales, européennes, nationales et locales. Par exemple, obligatoire par la Convention FAL : passagers et équipage, navire, fret, contrôle aux frontières, déchets, sécurité, santé, informations sur les voyages sont requis.
Données commerciales et financières	Comme toute entreprise, les ports fournissent des services aux entreprises (compagnies maritimes, etc.) et réservent différents services à leurs prestataires (prestataires ICT par exemple) : financiers et commerciaux sont des échanges (transfert d'argent, facturation, etc.).
Données de navigation	Grâce aux données satellitaires et de navigation (AIS, SafeSeaNet, etc.), les différentes parties prenantes partagent les données de navigation avec le port (position GPS, informations sur les routes maritimes, etc.).
Contrôle et autorisation	Les autorités portuaires et d'autres autorités nationales contrôlent et délivrent l'autorisation de mouvement des navires et des cargaisons.
Données opérationnelles	Afin de planifier et de gérer tous les services (services maritimes, services logistiques, etc.), des données opérationnelles sont partagées entre les acteurs portuaires.
<u>Personnes</u>	
Personnel de l'autorité portuaire	Personnels permanents ou temporaires, statutaires ou contractuels, employés par l'autorité portuaire.
Personnel commercial permanent	Personnels des sociétés opérant en permanence dans les ports emploient des personnes, en tant que personnel statuaire (opérateurs de terminaux, prestataires de services permanents, etc.).
Personnel informatique / OT	Personnels employés par les autorités portuaires et les entreprises privées, opère dans différents systèmes pour mettre en place de nouvelles solutions et les maintenir (RSSI, CIO, administrations, etc.).

Personnel externe	Personnels externes des installations portuaires, autre personnel de service (tiers), personnel temporairement autorisé (entrepreneurs, chauffeurs de taxi, etc.).
Équipages de navires	Lorsqu'un navire arrive dans un port, les membres de l'équipage et leur capitaine peuvent utiliser les différentes installations du port (restaurant, bar, etc.).
Passagers	Passagers qui traversent les zones portuaires pour monter dans les navires de croisière et les ferries.
Grand public	Généralement, certaines zones portuaires sont ouvertes au public (tourisme, recherche, etc.).

Figure n° 12 – Actifs que l'on peut trouver sur un port

Source : guide « ports cybersécurisés » - bonnes pratiques pour la cybersécurité dans le secteur portuaire, version n°3 de février 2024, DGITM

2.2.5. Applications du GNSS pour d'autres activités liées au maritime

Plusieurs applications et systèmes utilisent le GNSS.

Pour le génie maritime : pour ces activités techniques d'ingénierie relatives aux ports, estuaires, plages, ainsi qu'aux structures fixes construites en mer et aux structures mobiles évoluant sur l'eau, le GNSS est utilisé pour :

- **garantir l'homogénéité du dragage** sur l'ensemble d'une surface ;
- **permettre le suivi précis** par un navire câblé du tracé préalablement défini lors de l'installation de câbles sous-marins ou de canalisations subaquatiques d'hydrocarbures ;
- **réaliser des mesures lors de travaux de construction** ;
- **suivre les déformations et mouvements de grandes infrastructures** ;
- **positionner les mesures de levés hydrographiques** (mesurage des éléments physiques des océans, des mers, des zones côtières, des lacs et des fleuves) destinés au tracé des routes maritimes et fluviales et à la sécurité de la navigation (cf. exigences de la convention SOLAS⁴), du développement économique, de la défense, de la recherche scientifique et de la protection de l'environnement.

⁴ Safety Of Life At Sea

Pour la bathymétrie : pour cette discipline qui consiste à réaliser des cartographies marines afin d'assurer la sécurité de la navigation maritime et l'aide à la conception d'ingénierie de sites en mer, à l'aménagement du littoral, à la protection de l'environnement et à la prévention des risques naturels, les données GNSS de géolocalisation permettent de **rattacher les informations levées**, initialement référencées relativement aux capteurs, **à un système de référence terrestre, et à les dater.**

Pour l'océanographie : pour cette discipline, qui consiste en l'étude des processus physiques liés aux propriétés et au mouvement des masses d'eaux océaniques et permet de mettre en place des modèles océanographiques, de connaître les marées et courants et contribuer à la sécurité de la navigation, à l'aménagement et à la protection de l'environnement, à la vigilance météorologique et à la prévention d'inondations rapides et sévères du littoral et des ports (risque « vague-submersion »), les données GNSS de géolocalisation servent au **positionnement des mesures réalisées par différents capteurs (marégraphes radars, marégraphes plongeurs, courantmètres fixes ou mobiles).**

2.3 Applications du GNSS dans des domaines connexes

Les données de synchronisation et de géolocalisation fournies par le GNSS sont également nécessaires pour d'autres services et applications qui participent de l'écosystème des navires, des bateaux et des ports, tels que:

- **les réseaux de communications électroniques (2G, 3G, 4G, 5G, 6G, WIFI, PMR, réseaux satellitaires),**
- **les réseaux de radiodiffusion,**
- **les réseaux et systèmes industriels (smart port 4.0, objets et capteurs connectés, Internet industriel des objets ou IIoT, industrie 4.0),**
- **Les actifs liés à la fourniture d'énergie,**
- **le transport aérien dont les drones,**
- **le transport routier,**
- **le transport ferroviaire,**
- **la météorologie,**
- **les systèmes informatiques, notamment les systèmes distribués, le cloud computing et les data centers,**
- **etc.**

Certaines de ces applications et leur utilisation du GNSS sont présentées ci-après.

2.3.1. Applications du GNSS pour les réseaux de communications électroniques

La synchronisation est l'une des fonctions les plus critiques d'un système de communication.

Les réseaux de communications électroniques nécessitent à la fois une synchronisation en fréquence et en phase (temps). A cet effet, ils peuvent utiliser les données GNSS.

2.3.1.1 Réseaux sans fil de communications électroniques : 2G, 3G, 4G, 5G

Tout réseau mobile de communications électroniques nécessite à la fois une synchronisation en fréquence et en phase (temps). Par exemple, les technologies cellulaires 3G et 4G nécessitent une synchronisation des fréquences, principalement pour éviter les interférences lorsque les cellules se chevauchent.

Pour limiter les risques d'interférences, l'exigence en termes de synchronisation est très importante lors de l'exploitation d'un réseau 5G ou 4G LTE dans un mode TDD (Time-Division Duplex ou duplex par séparation temporelle) car dans ce mode la transmission en liaison montante et celle en liaison descendante s'effectuant sur la même fréquence. Dans ce mode, la synchronisation est également nécessaire pour assurer une bonne cohabitation entre réseaux voisins et éviter les brouillages inter-réseaux.

Dans ce cas le besoin de synchronisation concerne non seulement la fréquence et la phase mais également la trame. En effet, des interférences peuvent se produire entre deux réseaux TDD (4G ou 5G) situés l'un à côté de l'autre (y compris dans des zones frontalières) même s'ils sont synchronisés dans le temps si leurs formats de trame ne sont pas synchronisés. En conséquence, les exigences des standards 3GPP (3rd Generation Partnership Project) en matière de synchronisation sont très strictes pour la 4G TDD (TDD LTE) et la 5G TDD (ou 5G-NR).

Le GNSS peut être utilisé pour répondre aux besoins de synchronisation de différents systèmes et réseaux :

- **les stations de base** : les signaux GNSS peuvent être utilisés pour synchroniser les protocoles de division de temps et de fréquence (WCDMA⁵, CDMA⁶, etc.) ;

⁵ Wideband Code Division Multiple Access, ou multiplexage par code à large bande

⁶ Code division multiple access ou accès multiple par répartition en code

- **les stations MCV (Mobile Communication on board Vessels ou services de communications mobiles à bord de navires)** : la réception des données de géolocalisation du GNSS permettent de stopper leur fonctionnement de ces répéteurs de téléphonie mobile quand les navires se rapprochent des côtes françaises afin de respecter la réglementation relative à l'utilisation des fréquences radioélectriques et de ne pas brouiller les réseaux de téléphonie et d'internet mobiles sur la côte ;
- **la 3G et la 4G** : des exigences de synchronisation de fréquence et de phase sont édictées pour l'interface radio afin d'assurer un transfert sécurisé entre les stations de base du réseau. En particulier, la **4G en mode TDD** nécessite une synchronisation très précise de l'heure partout dans le réseau (tolérance < 1,5 µs). Cette synchronisation peut être assurée à l'aide de récepteurs GNSS installés au niveau de chaque station de base ;
- **la 5G** : son fonctionnement exige un alignement temporel plus strict entre les stations de bases que dans les technologies cellulaires antérieures. En particulier, **la 5G en mode TDD** nécessite une synchronisation de l'heure très précise partout dans le réseau (tolérance < 1,5 µs). Cette synchronisation peut être assurée à l'aide de récepteurs GNSS installés au niveau de chaque station de base.

2.3.1.2 Réseaux mobiles privés de communications électroniques

Les **réseaux mobiles privés de communications électroniques** tels que le **DECT** (« Digital Enhanced Cordless Telecommunications » ou télécommunications numériques améliorées sans fil), la **PMR** (Radio mobile professionnelle), la **PMR LTE** (Radio Mobile Professionnelle en 4G) **TETRA** (Terrestrial Trunked radio ou radio terrestre à ressources partagées⁷) et **TETRAPOL** (Terrestrial Trunked Radio POLice, comme par exemple le système RUBIS de la Gendarmerie nationale), **la 4G et la 5G pour des acteurs verticaux (industries, infrastructures, collectivités)**, nécessitent des synchronisations en temps et en fréquence afin de pouvoir fonctionner correctement. A noter que pour **la 4G et la 5G en mode TDD** pour des acteurs verticaux, les exigences en matière de synchronisation sont très strictes (cf. paragraphe 2.3.1.1).

Le GNSS peut fournir les informations de synchronisation nécessaire pour ces réseaux.

⁷ Système de radio numérique mobile professionnel bi-directionnel, spécialement conçu pour des services officiels tels que services de secours, forces de polices, ambulances et pompiers, services de transport public et pour l'armée.

2.3.1.3 Réseaux fixes de communications électroniques

Le GNSS peut fournir les informations de synchronisation nécessaires pour :

- **le RTC (réseau téléphonique commuté public)** : une synchronisation temporelle est utilisée en particulier pour assurer le multiplexage entre les commutateurs et permettre les interconnexions au niveau du réseau de transport. Cette synchronisation se fait à la fois à l'aide d'horloges atomiques et d'horloges primaires de temps (PRC : Primary Reference Clock ou horloge primaire de référence) qui peuvent utiliser le GNSS.
- **la VoIP (Voix sur IP ou Voix sur IP)** : fin de garantir la qualité des applications VoIP, une synchronisation temporelle des nœuds du réseau IP peut être nécessaire. Le GNSS peut répondre à ce besoin.
- **le standard Ethernet⁸ et le protocole IP (Internet Protocol ou protocole internet)** : les technologies de synchronisation qui peuvent être utilisées comme le NTP (Network Time Protocol ou protocole de temps réseau) ou le PTP (Precision Time Protocol ou protocole de précision temporelle) se servent du GNSS en complément d'horloges atomiques déjà présentes.
- **les réseaux par câbles** : divers protocoles de communication sont disponibles tels que le SDH (Synchronous Digital Hierarchy ou hiérarchie numérique synchrone) et le SONET (Synchronous Optical Network ou réseau optique synchrone), pour lesquels certaines des horloges positionnées à chaque extrémité de la dorsale (partie principale du réseau) utilisent le GNSS pour des fonctions de synchronisation.
- **les réseaux Ethernet sensibles au temps (Time-Sensitive Networking ou TSN)** : pour ces réseaux, le GNSS peut fournir la référence de temps nécessaire.

2.3.1.4 Réseaux satellitaires de communications électroniques (SATCOM)

Les besoins en synchronisation des moyens de communications électroniques par satellites varient avec :

- le type de signal (voie, données, vidéo, analogique ou numérique) ;
- les techniques de transmissions employées par le satellite (multiplexage fréquentiel, multiplexage temporel, modulation) ;

⁸ Protocole de communication utilisé pour les réseaux informatiques, exploitant la commutation de paquets. C'est une norme internationale ISO/IEC/IEEE 8802-31.

- les techniques d'accès : accès multiple par répartition en fréquence (FDMA, Frequency Division Multiple Access), accès multiple par répartition temporelle (TDMA, Time Division Multiple Access), accès multiple par répartition en code (CDMA, Code Division Multiple Access), accès multiple par répartition spatiale (SDMA, Spatial Division Multiple Access), l'accès direct à la mémoire à distance (RDMA, Remote Direct Memory Access) ;
- les standards et protocoles (Digital Video Broadcasting, TCP/IP ou Transmission Control Protocol/Internet Protocol, ATM ou mode de transfert asynchrone).

Le GNSS peut être utilisé pour la synchronisation par :

- **les stations de contrôle satellitaires ;**
- **les passerelles de télécommunications.**

L'utilisation de récepteurs GNSS y est en effet très répandue à la fois pour les fonctions de génération de fréquences et comme horloge de référence. Ces récepteurs GNSS sont alors généralement couplés avec des oscillateurs locaux (atomiques).

2.3.1.5 Réseaux de radiodiffusion

Le GNSS peut être utilisé par :

- **les services de diffusion radio** : certains de ces services peuvent avoir besoin du GNSS pour synchroniser les émetteurs FM afin d'éviter le brouillage dans les zones de regroupement ;
- **les services de diffusion TV** : ces services ont besoin de synchroniser la transmission simultanée des différents types de données : vidéo, audio et métadonnées. Les signaux de synchronisation nécessaires sont générés de manière centrale par une horloge maîtresse. Cette horloge maîtresse peut être reliée à une source de temps GNSS.

2.3.2 Applications du GNSS pour les réseaux et systèmes industriels : smart port 4.0, Internet industriel des objets ou IIoT, industrie 4.0

L'**industrie 4.0** vise à optimiser les performances de production, sécurité, stockage, vérification et traçabilité et à réduire son empreinte écologique. Elle est notamment basée sur la relève d'information via l'installation de capteurs et senseurs et sur des moyens de commande à distance. Ces capacités permettent d'améliorer les performances opérationnelles relatives au contrôle, à la régulation, à l'exploitation et à la maintenance d'infrastructures industrielles.

L'industrie 4.0 nécessite de relier les machines entre elles.

On compte quatre grandes familles de réseaux pour l'Internet industriel des objets ou IIoT (Industrial Internet of Things) :

- les réseaux personnels sans fil (WPAN : Wireless Personal Area Network ou réseau domestique sans fil): tels que le Bluetooth, le Zigbee, le WiFi et la RFID ;
- les réseaux étendus sans fil non basés sur la technologie cellulaire (i.e. technologie non 3GPP) : tels que Sigfox, LoRaWAN (Low Range Wide Area Network ou réseau étendu à basse consommation) et le Weightless ;
- les réseaux étendus sans fil basés sur des technologies cellulaires (Technologie 3GPP : 3G/4G/5G) : concernant la 4G et la 5G TDD , voir paragraphes 2.3.1.1 et 2.3.1.2) ;
- les réseaux sensibles au temps (TSN).

L'utilisation du GNSS varie fortement avec le type de réseau considéré. En effet, les besoins en synchronisation et traçabilité varient fortement d'une technologie de l'internet des objets à l'autre et ces besoins peuvent être fournis par le GNSS ou d'autres sources.

2.3.3 Applications du GNSS pour les actifs liés à la fourniture d'énergie

L'information de temps est cruciale dans le secteur de l'énergie. Elle peut être fournie par le GNSS.

Dans le domaine de l'énergie, des mécanismes de **synchronisation temporelle** (par exemple l'horodatage) et de **synchronisation en fréquence** (syntonisation) sont nécessaires afin de fournir un service optimal. Le temps est principalement employé afin de **synchroniser les mesures faites sur le réseau de production et de distribution**.

Le temps permet également de **synchroniser les moyens de stockage et de collecte de ces données de mesures**. Les opérateurs en charge de la production et de la distribution d'énergie doivent pouvoir accéder à ces données en temps réel afin de **surveiller et contrôler le réseau**. Ils doivent aussi pouvoir accéder à l'historique des données reçues afin de pouvoir analyser et potentiellement **anticiper de futurs problèmes sur le réseau**.

Dans le domaine spécifique de l'énergie électrique, l'information de temps est utilisée en particulier pour des **mécanismes de synchronisation à la fois temporelle et en fréquence**. Le temps est principalement employé afin de **synchroniser les mesures réalisées lors de la génération de l'électricité, mais aussi sur le réseau de production et sur le réseau de distribution**.

Les outils de mesures et de pilotage employés pour la téléconduite, la surveillance et le contrôle des réseaux intelligents (« smart grid »), i.e. **les outils SCADA** (Supervisory Control And Data Acquisition ou système de contrôle et d'acquisition des données), nécessitent aussi une synchronisation en temps et en fréquence. Le GNSS peut permettre de fournir une référence de temps UTC (« coordinated universal time » ou temps universel coordonné) ainsi qu'une synchronisation en fréquence.

2.3.4. Applications du GNSS pour les drones

Les scénarios opérationnels d'utilisation de drones sont très nombreux : la recherche et le sauvetage, la protection d'un site, le transport de marchandises, etc.

Les drones étant des appareils pilotés à distance, leurs besoins en géolocalisation sont importants, notamment lorsque le drone effectue des vols hors de portée de vue du pilote (BVLOS, Beyond Visual Line Of Sight) et des vols autonomes.

Le GNSS est utilisé pour :

- **le positionnement du drone** : le GNSS est utilisé comme capteur de position (seul ou en présence d'autres capteurs comme les inertiels) pour permettre les vols BVLOS c'est-à-dire hors du champ de vision du pilote ; le GNSS est également utilisé pour le suivi des trajectoires en autonomie ; si un système de gestion de trafic est mis en place, le GNSS y aura une utilité. **Il est cependant à noter que pour certaines applications critiques comme l'évitement des collisions avec des objets ou des êtres humains, d'autres capteurs seront utilisés en complément comme des caméras, des radars, des lidars, etc.**
- **la géolocalisation de données captées grâce à des équipements installés sur un drone** : l'information GNSS joue également un rôle important dans diverses applications comme par exemple la géolocalisation de photos/ vidéos ou de mesures relevées ou effectuées à partir d'équipements embarqués sur un drone.

2.3.5 Applications du GNSS pour les services de météorologie

Météo-France est dotée d'un réseau d'observation composé de stations sols, de satellites météorologiques, de radars et de navires. Pour compléter son réseau, Météo-France accède à des données issues de partenariats permettant par exemple l'accès aux mesures des capteurs embarqués sur des avions et des navires.

Certains de ces moyens de mesures ont besoin d'une synchronisation temporelle très précise afin de pouvoir remplir leurs missions. Cette synchronisation peut être basée sur le GNSS ou d'autres sources de temps comme le NTP (Network Time Protocol ou protocole de temps réseau) ou le signal horaire d'Allouis⁹. Le GNSS peut ainsi être utilisé pour :

- **les stations et radars météorologiques**: certains de ces systèmes reposent notamment sur l'utilisation du GNSS pour assurer une fonction d'horodatage sur une base de temps commune. Il en va de même pour les stations météorologiques des réseaux partenaires qui peuvent, elles aussi, se baser sur l'utilisation d'autres sources de temps comme le NTP ou le signal horaire d'Allouis.
- **les bouées dérivantes et les houlographes**, qui peuvent se baser pour les mesures en mer sur l'utilisation de récepteurs GNSS pour corriger leurs horloges locales et ainsi horodater précisément leurs mesures ;
- **les détecteurs de foudre** : chaque capteur de foudre basse fréquence du réseau « météorage » de Météo-France possède un récepteur GNSS qui une référence de temps universelle (UTC) afin de pouvoir localiser les éclairs grâce à la méthode de temps d'arrivée hyperbolique ;
- **des modèles de prévision numérique du temps** : Météo-France a développé des modèles de prévision numérique du temps à l'échelle régionale (Arôme) et planétaire (Arpège) qui peuvent utiliser des données horodatées notamment par GNSS. Les mesures météorologiques doivent être géoréférencées, ce qui peut être réalisé avec le GNSS, avant d'être intégrées dans les modèles numériques de l'atmosphère ;
- **des techniques d'analyse des propriétés de l'atmosphère** : Météo-France utilise également les diverses propriétés de propagation du signal GNSS dans l'atmosphère afin de récolter des informations permettant d'alimenter les modèles de l'atmosphère.

2.3.6 Applications du GNSS pour les systèmes informatiques

Pour les systèmes informatiques, dont notamment les systèmes distribués, le cloud computing (« informatique en nuage ») et les data centers (infrastructures composées d'un réseau d'ordinateurs et d'espaces de stockage), un niveau élevé de synchronisation est essentiel.

A cet effet, ils ont besoin d'une référence de temps qui peut être fournie par le GNSS.

⁹ L'émetteur d'Allouis est situé dans la commune d'Allouis, dans le département du Cher, en France. Il diffuse les signaux horaires du Temps Légal Français sur la fréquence 162 KHz.

3. Le brouillage du GNSS

3.1 Définition et description

Le brouillage du GNSS se définit comme le brouillage des fréquences dédiées au GNSS, empêchant la bonne réception des signaux GNSS véhiculés à partir des satellites.

Un brouillage des fréquences GNSS correspond à une **énergie électromagnétique**, due à des émissions, rayonnements ou inductions (ou à une combinaison de ces émissions, rayonnements ou inductions), **qui altère ou masque les signaux utiles du GNSS et compromet (dégrade, entrave ou interrompt) le fonctionnement de récepteurs GNSS.**

Un brouillage peut être intentionnel (i.e. utilisation d'un brouilleur) **ou non intentionnel** (i.e. équipement radioélectrique, électrique ou électronique en défaut qui émet des signaux non désirés ou des parasites dans la bande de fréquences GNSS).

Le brouillage par déception, nommé leurrage ou « spoofing » en anglais, consiste à émettre des signaux trompeurs.

On parlera ici de brouillage GNSS pour tout type d'interférence du GNSS (GPS, Galileo, Glonass, Beidou, etc.), que celle-ci soit délibérée comme l'utilisation d'un brouilleur GNSS ou non intentionnelle telle que la création de signaux non désirés, de parasites ou autres phénomènes électromagnétiques résultant d'un dysfonctionnement ou d'une non-conformité de systèmes radioélectriques, électriques ou électroniques.

L'extrait ci-après illustre un brouillage du GNSS causé par un brouilleur installé sur un quai.

How Sinister Signals Stop Ships

THE GLOBAL POSITIONING SYSTEM, a network of satellites maintained by the U.S. Air Force, is widely seen as both reliable and nearly impregnable. But even the strongest satellite signals grow weaker as they get closer to earth's surface, and that creates opportunities for mischief. Here's how military forces, spies, and even criminal networks can interfere with GPS and other navigation systems.

Traduction : « Comment des signaux menaçants arrêtent les navires. Le système de positionnement global GPS, réseau de satellites maintenu par l'US Air Force, est largement considéré comme fiable et presque inviolable. Mais même les signaux satellites les plus forts s'affaiblissent à mesure qu'ils se rapprochent de la surface de la terre, ce qui crée des opportunités pour des méfaits. Voici comment les forces militaires, les espions et même les réseaux criminels peuvent brouiller le GPS et d'autres systèmes de navigation. »

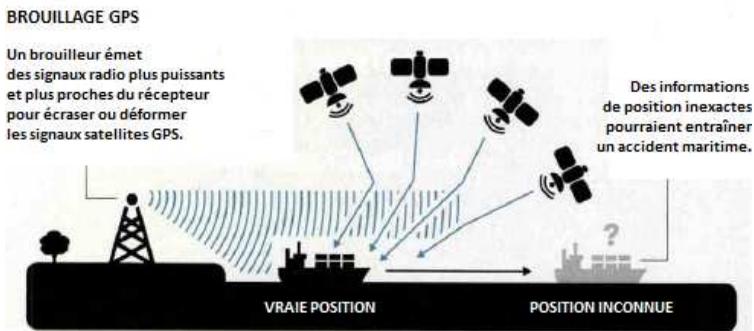


Figure n° 13 : Brouillage du GPS par un émetteur installé à terre

Source : visuel (traduit) issu du même article cité supra (Fortune, 1^{er} février 2020)

Dans le schéma ci-dessous, un navire voit sa réception des signaux GNSS brouillée par un brouilleur placé sur un autre navire à proximité.

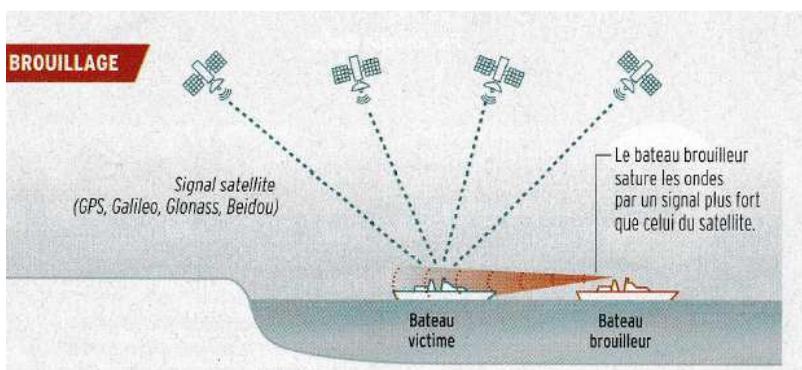


Figure n° 14 - Brouillage du GNSS par un système installé sur un navire à proximité

Source : L'Express, 3 juillet 2019, « GPS embrouille sur les ondes.

Armées, transports, transactions financières : les sociétés tout comme les Etats sont de plus en plus dépendants des satellites de navigation.

Une vulnérabilité nouvelle et inquiétante », Romain Rosso.

3.2 Causes d'un brouillage du GNSS

Un brouillage du GNSS peut avoir des causes très diverses, intentionnelles ou non, allant d'émissions radioélectriques par des équipements non autorisés ou utilisés en dehors des conditions réglementaires à la génération de parasites électromagnétiques par toute sorte d'équipement électrique, électronique ou radioélectrique non conforme, mal utilisé, en défaut ou obsolète.

Quelques exemples ci-dessous :

- **brouilleurs du GNSS achetés et utilisés illégalement** pour :
 - empêcher les fonctions de géolocalisation d'un véhicule professionnel,
 - voler des biens protégés par un tracker GNSS,
 - contrer des drones « paparazzi »,
 - etc. ;
- **brouilleurs multi-bandes de la téléphonie mobile et / ou du WiFi et affectant également le GNSS , utilisés illégalement** prioritairement pour prioritairement pour empêcher les communications électroniques (réseaux mobiles, réseaux WIFI, etc.) pour toutes sortes de raisons ;
- **équipements radioélectriques en dysfonctionnement ou utilisés de manière non conforme,** générant une émission illégale dans la bande de fréquences du GNSS ;
- **équipements radioélectriques, électriques et électroniques utilisés de manière non conforme en termes de compatibilité électromagnétique (CEM),** générant une énergie électromagnétique non désirée (parasites, induction, etc.) dans la bande des fréquences GNSS ;
- **brouilleurs utilisés légalement par des services étatiques** dans le cadre de la dérogation définie au I de l'article L. 33-3-1 du code des postes et communications électroniques (CPCE) **pour de les besoins d'ordre public, de la défense et de la sécurité nationale, ou du service public de la justice et ayant des effets collatéraux ;**

Un brouilleur d'ondes est défini dans le CPCE comme un « dispositif destiné à rendre inopérants des appareils de communications électroniques de tous types, tant pour l'émission que pour la réception » (article L. 33-3-1 CPCE).

Un brouilleur du GNSS est un brouilleur d'ondes spécifiquement conçu pour perturber les fréquences dédiées au GNSS.

- **En règle générale, le brouilleur GNSS agit en émettant de façon plus forte que les signaux GNSS utiles.** Le signal brouilleur va alors masquer les signaux utiles en les saturant ce qui va inhiber les récepteurs GNSS, les rendant inopérants.
- **Un brouilleur GNSS ressemble à un boîtier muni d'une ou de plusieurs petites antennes,** selon qu'il brouille une ou plusieurs constellations du GNSS et sur une plusieurs bandes de fréquences (exemples : GPS L1, Galileo E1, GPS L2, Galileo E2, etc.). Selon les antennes dont il dispose, il peut aussi brouiller d'autres services de radiocommunications (téléphonie mobile (2G, 3G 4G & 5G), réseaux de transmission sans fil (WiFi), WiMax, réseaux privés professionnels, etc.) et on le nomme alors brouilleur multi-bandes.

Les brouilleurs GNSS les moins chers sont des dispositifs à antenne unique qui brouillent la fréquence L1 du signal GPS.

Les unités plus chères ont plusieurs antennes et attaquent deux ou trois fréquences de signal GPS (L1 et L2, ou L1, L2 et L5) plus éventuellement d'autres bandes de fréquences (téléphonie mobile, WIFI, etc.).

Lors de ses interventions pour résoudre des brouillages du GNSS, l'ANFR trouve régulièrement des brouilleurs du GPS embarqués dans des voitures ou des camions pour se soustraire au dispositif de géolocalisation mis en place pour le suivi du véhicule (ex. : flotte d'entreprise).

Des brouilleurs multi-bandes affectant le GNSS et des bandes de communications électroniques comme la téléphonie mobile et le WiFi font aussi partie des équipements découverts régulièrement par l'ANFR lors de ses investigations pour des cas de brouillage du GNSS ou des cas de brouillage de la téléphonie mobile.

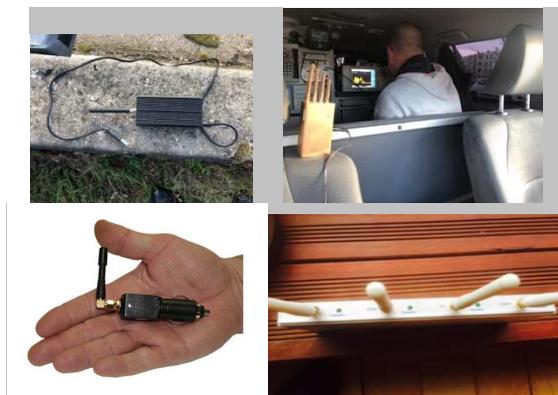


Figure n° 15 - Exemples de brouilleurs découverts par l'ANFR lors d'interventions pour des cas de brouillage du GNSS - Source ANFR



Figure n° 16 - Certains brouilleurs GNSS sont camouflés - Source Internet



Figure n° 17 - Exemples de brouilleurs saisis par l'ANFR ou proposés (illégalement) sur des sites Internet

Même lorsqu'ils sont de très faible puissance, les brouilleurs GNSS sont une menace importante :

- En effet, **le rayon d'action de ces appareils est toujours important**, en raison de la faiblesse du niveau des signaux GNSS reçus de la part des satellites.
- Ainsi, contrairement à ce que pensent souvent ceux qui les utilisent, par exemple pour déjouer un suivi par balise GNSS, **le rayon d'action des brouilleurs est généralement bien plus large que ne laisse supposer leur puissance ou leur documentation** et la carrosserie d'un véhicule ne confine pas l'effet d'un brouilleur de GNSS à l'habitacle. **Un brouilleur GNSS de faible puissance (quelques milliwatts) embarqué à bord d'une voiture ou d'un camion peut perturber tous les services qui utilisent le GNSS à plusieurs centaines de mètres alentour sur le plan horizontal et plusieurs milliers de mètres en altitude !**

Il faut aussi prendre en compte la menace représentée par l'utilisation par des personnalités de brouilleurs anti-drones contre des drones utilisés par des paparazzi. De tels brouilleurs sont de fortes puissances. Leur zone d'impact est très large (cf. le cas relaté dans la presse néerlandaise d'un brouillage du GNSS intervenu en mars 2021). Un brouilleur anti drone paparazzi installé sur un yacht, impactait les navires sur l'Escaut, fleuve qui traverse trois pays, la France, la Belgique et les Pays-Bas avant de se jeter en mer du Nord. Il affectait aussi les espaces aériens du Nord de la France, de la Belgique et des Pays-Bas.

Drones

Brouilleurs de drones
Afficher tous les 4 résultats



Figure n° 18 - Exemples de brouilleurs anti-drones - Source : Internet

3.3 Menace de brouillages du GNSS

Plusieurs facteurs concourent à la menace de brouillages du GNSS :

- **la faiblesse du niveau des signaux du GNSS, qui sont reçus de satellites situés à environ 20 000 km de distance.** Leur niveau est environ un million de fois plus faible que le signal qui sort d'un téléphone mobile, signal déjà très faible. Ainsi, les récepteurs GNSS et les applications et services qui utilisent des signaux GNSS doivent être très sensibles pour recevoir ces signaux très faibles émis par des satellites. Ils sont ainsi particulièrement vulnérables aux brouillages du GNSS que ceux-ci soient intentionnels ou non.
- **la multiplication exponentielle des usages d'équipements radioélectriques, électriques ou électroniques.** Cet accroissement des usages s'accompagne du risque de, non-conformité, mauvaise utilisation ou installation, défaut de maintenance ou panne de ces équipements qui peuvent alors se mettre à générer des émissions électromagnétiques dans la bande de fréquences GNSS avec à la clé un brouillage préjudiciable.

- **la facilité à se procurer des brouilleurs illicites, en particulier sur Internet, même si en France, la détention, la publicité et la vente sont interdites.** La disponibilité de brouilleurs GNSS sur des sites de e-commerce souvent localisés hors Union européenne fait peser une menace importante sur les utilisations du GNSS. Remarque : Fin 2021, on en a même trouvé dans une brochure éditée par une entreprise étrangère spécialisée dans l'équipement pour la sécurité de super-yachts un système de brouillage anti drones pouvant impacter la bande de fréquences GNSS sur une zone considérable !

3.4 Impacts potentiels d'un brouillage du GNSS sur le domaine du transport maritime & fluvial et des opérations portuaires

Intentionnel ou non, un brouillage du GNSS engendre, sur une zone plus ou moins grande selon la puissance du signal brouilleur et la sensibilité des récepteurs, et aussi longtemps qu'il n'a pas été résolu ou a disparu, **la chute de la réception de signaux GNSS.**

Le brouillage du GNSS peut alors entraîner **l'altération ou le déni de service d'applications économiques ou étatiques** qui ont besoin d'utiliser des données GNSS que ce soit pour la localisation ou une référence de temps, avec le **risque de créer des situations dangereuses pour la vie humaine ou l'environnement ou économiquement pénalisantes.**

Sur le transport maritime & fluvial et les opérations portuaires, le brouillage du GNSS peut avoir des impacts en termes :

- **de sécurité des personnes** (atteinte à la vie humaine) ;
- **de sécurité des biens** (navires endommagés, marchandises dégradées ou perdues, etc.) ;
- **d'environnement** (pollutions, surconsommation de carburant etc.) ;
- **ou de répercussions négatives au plan économique** (coûts supplémentaires engendrés par retards de livraison, navigation moins optimisée, une augmentation de la consommation de carburant, des accidents et pertes matérielles, dégradation de l'image du transporteur, , dégradation de la gestion des conteneurs dans les ports, perte de conteneurs dans les ports, déploiement d'équipes de secours, déploiement d'autre moyens de surveillance du trafic, suspension ou report de levés bathymétriques ou gravimétriques ou de prélèvements de sédiments, incapacité à mener des opérations de surveillance par drones, etc.).

Selon une étude de London Economics de juin 2017, intitulée « The economic impact on the UK of a disruption to GNSS », et commandée par Innovate UK, l'Agence spatiale britannique et le Royal Institute of Navigation, l'impact économique des retombées de la défaillance du GNSS dans le secteur maritime sur une période de cinq jours coûterait 1,1 milliard de livres sterling en perte de valeur ajoutée brute (VAB) au Royaume-Uni seulement.

En France, un rapport rédigé par l'entreprise FDC sur les effets d'une altération ou d'une indisponibilité des informations GNSS, notamment en raison d'un brouillage ou d'un leurrage, sur le fonctionnement de systèmes civils dont ceux utilisés par les transports maritimes et fluviaux, est paru en janvier 2022. Plusieurs impacts sur la sécurité, l'environnement et l'économie ont été démontrés.

A noter que les conséquences opérationnelles d'un brouillage varient selon la robustesse des récepteurs GNSS et les mesures de résilience mises en place, ainsi que selon l'amplitude et la durée de la perturbation. D'où l'importance, comme le signale le rapport FDC dans ses conclusions, de signaler toute perturbation du GNSS à l'autorité en charge du traitement des brouillages, en l'occurrence l'ANFR, afin que celle-ci puisse intervenir avec ses capacités techniques et légales d'enquête pour y mettre fin.

Parmi les impacts potentiels d'un brouillage du GNSS sur le transport maritime et fluvial et les opérations portuaires, ainsi que sur des domaines connexes, des exemples sont mentionnés dans les paragraphes suivants.

3.4.1 Impacts potentiels sur la navigation et le positionnement des navires et des bateaux

Concernant la navigation maritime :

- **la navigation, la connaissance de la situation, la stabilisation des cartes et les communications ASN** seront perdues si elles sont basées sur le GNSS ;
- par ailleurs, les navires équipés de passerelles intégrées qui permettent le **pilotage automatique** peuvent, selon la conception du système, changer de cap ou de route en présence d'un brouilleur sans que la personne de quart en soit informée, ce qui peut potentiellement conduire à des situations dangereuses. Ainsi à ce jour, le respect de la sécurité de la navigation dépend de la capacité des marins à identifier et reconnaître un déni du service GNSS, et utiliser efficacement des techniques de navigation alternatives (ex. : l'indexation parallèle radar) ;
- l'utilisation accrue du système **ECDIS** augmentera les risques associés à un déni du service GNSS ;

- **le passage à un mode de navigation dégradé** (moyens de navigation traditionnels sans informations GNSS) **peut être moins précis et moins réactif**, ce qui peut être critique dans les zones de navigation denses en trafic ou à proximité de récifs ou d'écueils ou en entrée et sortie de port ;
- **en cas de navigation dégradée, d'autres impacts potentiels** sont : **une navigation moins optimisée, une augmentation de la consommation, une réduction des vitesses** suite à l'impossibilité de prévoyance.

Concernant la navigation intérieure (fluviale, dans les estuaires (suivi des chenaux, entrées de port) et les voies navigables :

- l'impact d'un brouillage du GNSS peut être particulièrement critique pour les fonctions de navigation côtière, fluviale ou portuaire. Notamment pour les **manœuvres nécessitant un positionnement très précis du navire**, comme par exemple dans un port ou un chenal. Il peut même immobiliser le navire en temps de brume ;
- par exemple, la perte du GNSS peut être la cause d'une **erreur grave de positionnement sur l'arrivée des écluses** ;
- **si le repérage AIS est mauvais, l'éclusage ne sera pas prêt, et cela peut être une cause d'accident** ;
- **d'autres impacts peuvent être le ralentissement des navires et une dégradation de l'optimisation de la navigation fluviale.**

Focus sur les impacts potentiels sur l'AIS d'un brouillage du GNSS :

- **Un brouillage du GNSS peut empêcher la mesure de la position, vitesse et cap du navire quand ils sont directement déduits du GNSS**, avec pour effet une dégradation des informations de navigation fournies par les AtoN, ainsi que des moyens de surveillance embarqués du trafic maritime.
- **En cas de dégradation ou de perte du service AIS :**
 - **la navigation est rendue plus difficile**, notamment pour la prévention des collisions entre navires et pour la surveillance du trafic par les VTS (Vessel Traffic Service) ou STM (Service de Trafic Maritime). Il peut cependant être considéré qu'une dégradation du service AIS consécutive à un brouillage GNSS n'augmente pas le risque de collisions en mer, l'identification des navires aux alentours se basant également sur d'autres moyens, comme la veille visuelle et les systèmes de poursuite radar embarqués, ou le STM.

- **la surveillance du trafic peut être impactée**, ce qui pourrait impliquer une **augmentation potentielle de l'insécurité en mer**. Cette défaillance peut aussi engendrer une augmentation des coûts pour les autorités publiques car, la surveillance en mer étant susceptible d'être dégradée, elles sont dans l'obligation de déployer d'autres moyens de surveillance comme une veille radar couplée à une identification optronique ou plus d'effectifs sur le terrain afin de garantir un niveau de sécurité constant. Par ailleurs, **il est admis que le radar et la veille visuelle ont des performances limitées lors de certaines conditions de navigation difficiles comme la forte pluie ou le brouillard. De plus, le radar ne permet pas d'identifier les cibles**, et la gestion d'un potentiel conflit de trajectoires entre navires est plus difficile car, par rapport à l'AIS, le radar détecte moins rapidement et avec moins de précision les déplacements des différents navires.
- **l'incertitude temporelle causée par la perte des informations de synchronisation du GNSS pourrait aussi altérer la qualité des communications**, avec une augmentation du risque d'interférence entre les messages AIS envoyés par différents bateaux en particulier dans les zones à forte densité de trafic.

Pendant, il faut noter que l'AIS est résilient par conception pour accéder en temps partagé aux canaux. En effet, le standard AIS exige qu'en l'absence d'un signal GNSS pour la synchronisation TDMA, le récepteur AIS doit passer dans un mode « sémaphore » qui consiste à se synchroniser sur une station de base quand il est en portée d'une « Base station », ou sur une station mobile dans le cas contraire.

A noter que l'une des premières conséquences d'une défaillance de l'AIS est une augmentation de la charge de travail et du niveau de stress de l'équipage.

Une étude sur la gestion des activités d'anticollision à bord des navires de pêche hauturiers donne l'exemple d'un abordage qui, selon l'auteur, n'aurait certainement pas pu être évité sans l'utilisation de l'AIS. Lors de cet incident, le radar était aveugle à cause de la situation météorologique très dégradée (vent force 10 à 11, houle 6 mètres, visibilité nulle) et c'est l'AIS qui aurait permis aux deux navires de s'identifier et de s'éviter.

Source : https://www.researchgate.net/publication/297007503_Gestion_des_Activites_d%27Anticollision_a_Bord_des_Navires_de_Peche_Hauturiers_Prevention_du_Risque_d%27Abordage_en_Mer

Concernant les navires autonomes, l'impact de la perte du GNSS peut-être généralement compensé, notamment par un **passage en mode « Fail Safe »**, mais c'est un **mode dégradé**.

3.4.2 Impacts potentiels sur la signalisation maritime

Concernant les aides à la navigation, un brouillage des signaux GNSS peut affecter les systèmes suivants :

- **les stations DGPS** (GPS différentiel), ce qui peut entraîner **l'absence de corrections DGPS et d'informations sur l'intégrité diffusées aux utilisateurs dans une zone géographique très étendue** ;
- **l'AIS de balisage**, qui peut diffuser des **informations de position incorrectes** ;
- **l'AIS Aton qui reçoit une fausse position GPS** : l'AIS Aton se considère alors comme hors position et coupe le signal. La conséquence est une **visibilité moins grande sur un radar** et cela pourrait poser un risque sur la sécurité maritime ;
- **l'AIS virtuel** : un impact sur la position de l'AIS virtuel est limité ou peu probable puisque l'on rentre la position (latitude et longitude) en manuel dans l'interface homme machine de l'AIS. Par contre, l'impact pourrait être plus critique pour la synchronisation du réseau qui est basée sur le GPS intégré de l'AIS ;
- **les feux** : les risques sont une désynchronisation ou un non-allumage. Le risque de désynchronisation est moindre si les feux sont actifs. Il est plus élevé lors de la mise en route. Pour les navigateurs, la non synchronisation des feux peut occasionner une gêne importante pour la position et surtout pour les mouvements (entrée/ sortie) de nuit. Le non-allumage des feux dont la mise en route est pilotée par des éphémérides calculées avec le signal GNSS a un impact négatif sur la visibilité notamment sur les zones de navigations ayant un fond lumineux urbain. Un démarrage en avance ou en retard des feux peut occasionner une gêne pour les navigateurs sans forcément remettre en cause la sécurité de la navigation puisqu'il existe d'autres feux aux alentours.

Concernant les navires des Phares et Balises, une défaillance du GNSS peut :

- **engendrer une erreur de position des navires des Phares et Balises**, ce qui peut **affecter la navigation des navires des Phares et Balises et causer des erreurs sur les travaux en cours de pose de bouées** (erreur de position). Ce risque reste néanmoins limité, car la navigation étant principalement côtière, on se servira plus du radar et du relèvement/distance que de la position GPS ;
- **empêcher les baliseurs d'utiliser le système de positionnement dynamique.**

3.4.3 Impacts potentiels sur la surveillance et la sécurité de la navigation

Une dégradation de l'information de position GNSS peut impacter les activités de surveillance du trafic et de recherche et sauvetage concernant :

- **la surveillance du trafic et l'évitement des collisions**, une dégradation de l'information GNSS peut conduire à **rendre confuse l'image de la situation maritime présentée aux opérateurs des CROSS et des VTS**, car les informations AIS contenant des positions erronées et des vitesses élevées seront en contradiction avec les informations radar ;

Il est cependant à noter que la situation d'une zone maritime littorale ne peut être tenue d'une manière exhaustive avec l'AIS seul. En effet, si la connaissance de tous les événements nautiques dans cette zone s'avère indispensable pour un État côtier en raison de risques élevés en termes de sécurité ou de sûreté, une veille radar couplée à une identification optronique s'impose pour compléter la situation AIS. **Cela limite ainsi l'impact sur la sécurité des personnes d'une altération de la surveillance du trafic maritime suite à une dégradation des communications AIS.**

- **la recherche et le sauvetage**, une dégradation de l'information GNSS peut conduire à **la non localisation d'un navire en détresse ou d'un homme à la mer** ;
- **le contrôle des navires de pêche**, une dégradation de l'information GNSS peut conduire à une **surveillance erronée des navires de pêche** ;
- **la boîte noire (VDR)**, une perte du GNSS peut affecter l'enregistrement des données dans le VDR.

3.4.4 Impacts potentiels sur le fret et les applications portuaires

Concernant le fret et les opérations portuaires, un brouillage du GNSS peut conduire notamment à :

- **la dégradation de la gestion du fret dans les ports** :
 - retards de livraison,
 - perte de traçabilité d'un conteneur / de matières dangereuses,
 - etc. ;
- **l'incapacité à mener des opérations de surveillance du port par drones.**

3.4.5 Impacts potentiels sur les autres activités liées au maritime

En génie maritime, une dégradation de l'information GNSS peut **fausser les levés effectués** et conduire à :

- **un géoréférencement erroné des levés hydrographiques** sur une carte marine qui est susceptible d'impacter la sécurité nautique ;
- **une perte de l'optimisation de la gestion des ouvrages** (ex. : gestion des écluses).

En bathymétrie, une dégradation de l'information GNSS peut amener à la **suspension ou au report de levés bathymétriques ou gravimétriques ou de prélèvements de sédiments**.

En océanographie, une dégradation longue de l'information GNSS peut impacter les **modèles de prévision de marées**.

3.5 Impacts potentiels sur des domaines connexes

A ces risques s'ajoutent ceux des altérations d'**autres services et applications** qui dépendent de la bonne réception de signaux GNSS pour la localisation ou la synchronisation et **font partie de l'écosystème des navires, bateaux et ports**, tels que :

- **les réseaux de communications électroniques** (2G, 3G, 4G, 5G, WIFI, PMR, réseaux satellitaires),
- **les réseaux de radiodiffusion**,
- **les réseaux et systèmes industriels** (smart port 4.0, objets et capteurs connectés, Internet industriel des objets ou IIoT, industrie 4.0),
- **les actifs liés à la fourniture d'énergie**,
- **le transport aérien dont les drones**,
- **le transport routier**,
- **le transport ferroviaire**,
- **la météorologie**,
- **les systèmes informatiques**, notamment les systèmes distribués, le « cloud computing » et les data centers,
- etc.

3.5.1 Impacts potentiels sur les réseaux de communications électroniques

Les impacts potentiels d'un brouillage du GNSS sur les réseaux de communications électroniques dépendent de la topologie des réseaux, de la performance des horloges de références primaires employées et des moyens de redondance mis en place en prévision de la perte potentielle du GNSS.

Les impacts peuvent aller d'une altération des services de communications électroniques ou de radiodiffusion à une indisponibilité du réseau de communications électroniques, avec le risque d'impacter la sécurité des personnes et des biens mais aussi l'économie elle-même.

En effet, de nombreux services dépendent des télécommunications fixes ou mobiles pour fonctionner correctement :

- l'accessibilité des numéros d'urgence et des réseaux utilisés pour la sécurité ;
- la supervision à distance du statut de différents systèmes ;
- les systèmes de l'industrie 4.0 ;
- les smart ports 4.0 ;
- etc.

3.5.1.1 Impacts potentiels sur les réseaux sans fil de communications électroniques : 2G, 3G, 4G, 5G

Les impacts d'un brouillage du GNSS sur ces réseaux dépendent fortement de :

- leur topologie ;
- leur dépendance au GNSS ;
- la capacité choisie de résistance à la perte du GNSS, notamment via une redondance de sources de données PNT.

Un brouillage du GNSS peut impacter les réseaux et services suivants :

- **la 2G et la 3G** : un brouillage du GNSS peut engendrer une baisse de la couverture et des risques de coupure des communications lors du passage d'une cellule à une autre ;
- **la 4G** : un brouillage du GNSS peut engendrer des dégradations de services (forte baisse de couverture et de débits, coupures de communication) principalement dans les zones les plus denses, et plus particulièrement pour le mode TDD très dépendant de la synchronisation ;

- **la 5G** : un brouillage du GNSS peut entraîner des dégradations de services (basses de couverture, forte baisse de la capacité et des débits, coupures de communications) principalement dans les zones les plus denses et plus particulièrement pour le mode TDD très dépendant de la synchronisation ;
- **les stations MCV** : un brouillage du GNSS peut entraîner le non-respect de la réglementation relative aux fréquences de téléphonie mobile et un brouillage du réseau d'un ou de plusieurs opérateurs mobiles à terre (cf. paragraphe 2.3.1.1).

3.5.1.2 Impacts potentiels sur les réseaux mobiles privés de communications électroniques

Un brouillage du GNSS peut impacter les réseaux mobiles privés de communications électroniques suivants :

- **les réseaux PMR dont TETRA** : un brouillage du GNSS peut engendrer des risques de coupure des communications PMR lors du passage d'une cellule à une autre. Il peut aussi accroître le risque de d'interférences au niveau des zones de superposition des cellules PMR). Les impacts peuvent aller jusqu'à une indisponibilité des réseaux PMR.
- **les réseaux PMR en LTE (4G)** : un brouillage du GNSS peut dégrader le service, mais de manière progressive car les oscillateurs locaux agissent comme moyen de secours.

3.5.1.3 Impacts potentiels sur les réseaux fixes de communications électroniques

Un brouillage du GNSS peut impacter les réseaux fixes de communications électroniques suivants :

- **les réseaux fixes de communications électroniques** : un brouillage du GNSS peut engendrer une dégradation progressive de la qualité de la conversation.
- **l'internet** : il n'y a à priori pas de vulnérabilité identifiée pour en cas de dégradation ou de perte du GNSS à l'exception du cas des **réseaux Ethernet sensibles au temps (TSN)**, réseaux principalement employés dans l'industrie (voir paragraphes 2.3.1.3 et 2.3.2).

3.5.1.4 Impacts potentiels sur les réseaux satellitaires de communications électroniques (SATCOM)

Un brouillage du GNSS peut engendrer une perturbation du fonctionnement des satellites de communication et une perturbation des moyens de communications par satellite.

3.5.1.5 Impacts potentiels sur les réseaux de radiodiffusion

Un brouillage du GNSS peut impacter les réseaux de radiodiffusion suivants :

- **les services de diffusion radio** : un brouillage du GNSS peut entraîner un risque de brouillage de la radio FM dans les zones de recouvrement radio ;
- **les services de diffusion TV** : un brouillage du GNSS peut altérer les services de télévision, par décalage entre l'audio et la vidéo.

3.5.2 Impacts potentiels sur les réseaux et systèmes industriels

Un brouillage du GNSS peut impacter divers types de réseaux et systèmes industriels (**smart port 4.0, Internet industriel des objets ou IIoT, industrie 4.0**) :

- **les réseaux étendus sans fil non basés sur la technologie cellulaire** : un brouillage du GNSS peut notamment causer la perte de la synchronisation précise de la couche applicative des objets ; augmenter les temps de latence des transmissions d'informations de bout en bout, ce qui peut avoir un effet grave sur la productivité d'une entreprise ; empêcher les systèmes industriels d'envoyer des informations ou de recevoir des commandes, ce qui peut faire dysfonctionner ou même stopper des actionneurs contrôlés à distance, ou empêcher des capteurs de communiquer leurs mesures en temps réel. Le brouillage du GNSS peut également empêcher l'horodatage des objets du réseau ;
- **les réseaux Ethernet sensibles au temps (TSN)** : un brouillage du GNSS peut augmenter la latence pour les paquets prioritaires transitant sur le réseau industriel impacté, ce qui peut avoir un impact grave sur la productivité. Un brouillage du GNSS peut aussi dégrader la transmission vidéo, audio et les moyens de contrôle des automates sur le réseau industriel impacté.

Ces différentes altérations ou indisponibilités de réseaux de l'industrie 4.0, susceptibles de faire dysfonctionner des moyens d'automatisation et de collecte des données, pourraient avoir **un impact sur les personnes, l'environnement et l'économie des industries**, en engendrant :

- **une moindre sécurité opérationnelle ;**

- **une baisse de productivité**, du fait d'une baisse de l'efficacité des processus de production, de stockage et de livraison et d'une altération des maintenances prédictives et de la détection de défaillances ;
- **une empreinte écologique dégradée**, en raison d'une baisse de l'efficacité des contrôles des déchets générés et d'une sur-consommation en électricité, gaz ou pétrole engendrée par une moindre efficacité des processus de production.

3.5.3 Impacts potentiels sur les actifs liés à la fourniture d'énergie

Ce paragraphe s'attache au secteur de l'énergie électrique, même si des impacts d'un brouillage GNSS affectent aussi les autres modes d'énergie.

Concernant les actifs liés à la fourniture d'énergie électrique, les effets de la perte du GNSS varient selon le nombre d'équipements impactés et la durée de la perte des signaux GNSS et peuvent se traduire par :

- **une rupture de synchronisme du réseau électrique**, non compensée par le déclenchement de mécanismes de protection, ce peut amener à des **ruptures de courant plus ou moins longues**.
- **une défaillance des mécanismes de localisation des défauts sur les lignes**, ce qui risque d'**allonger significativement les opérations de maintenance visant à résoudre un défaut**.
- **des altérations de l'horodatage des données télétransmises** ainsi que **des dysfonctionnements de la synchronisation GNSS des serveurs SCADA**, ce qui pourrait entraîner à plus ou moins long terme une **baisse de l'efficacité de la téléconduite du réseau** et donc une **baisse de production et d'acheminement de l'électricité**.

3.5.4 Impacts potentiels sur les drones

Les impacts potentiels d'un brouillage du GNSS sur les drones varient selon le type de vol concerné.

Lorsqu'un drone est contrôlé dans le champ de vision du pilote, alors l'information GNSS n'est pas nécessaire car la vue du pilote est suffisante. Dès lors, il n'y a pas de vulnérabilité induite par un brouillage du l'information GNSS. Par contre **si le drone est utilisé avec des équipements embarqués qui font des relevés, ces relevés ne pourront être géolocalisés**.

En mode autonome ou hors du champ de vue du pilote :

- **si la défaillance du GNSS est détectée, la navigation passe en mode dégradé** car elle est alors uniquement fournie par des capteurs inertiels impliquant une augmentation de l'incertitude sur la position calculée dans le temps. Si la position n'est plus suffisante pour les exigences de précisions nécessaires pour réaliser la navigation, on considère la position perdue et une procédure d'urgence permet au drone d'atterrir de la manière la plus sûre possible. On peut également noter que la fusion de données GNSS / capteurs inertiels permet de rendre un drone robuste à de courtes défaillances GNSS et apporte également un moyen de détection complémentaire d'une défaillance de l'information GNSS.
- **si la défaillance du GNSS n'est pas détectée, la navigation du drone peut être erronée et engendrer un risque de collision, de perte ou de chute du drone avec des effets délétères potentiels sur la sécurité des personnes, des biens ou de bâtiments.** Le drone reste toutefois généralement protégé des dangers de collision grâce à l'utilisation d'autres capteurs, comme des radars ou des caméras, lui permettant d'appréhender son environnement. Cependant, ces protections ne permettent pas d'éviter tous les accidents. Ainsi, en cas de défaillance non détectée de l'information de position GNSS un drone peut, par exemple être amené à s'écraser ou à survoler des zones interdites.

3.5.5 Impacts potentiels sur les services de météorologie

Un brouillage du GNSS peut impacter différents services de prévision météorologiques, avec les effets suivants :

- **des erreurs de localisation des éclairs par le réseau « météorage »;**
- **un défaut d'horodatage de données rapportées par différents systèmes** tels que **les stations au sol (RADOME), les radiosondes, les houlographes, les bouées et les stations embarquées (sur les navires).** Ces données pourraient alors être réputées fausses ;
- **des erreurs de prévisions météorologiques: erreurs d'observation des conditions en mer et d'anticipation d'évènements potentiellement dangereux,** tels que les fortes pluies méditerranéennes (épisodes Cévenols), les orages violents, le brouillard, les cyclones ou les îlots de chaleur urbains en période de canicule.

Les effets de ces erreurs pourraient entraîner diverses conséquences sur la sécurité des personnes et des biens, sur l'environnement et l'économie :

- une mauvaise préparation des personnes, des infrastructures ou des moyens de transports à un phénomène climatique potentiellement dangereux en raison d'une anticipation et/ou d'une absence de localisation des phénomènes météorologiques locaux potentiellement dangereux ;
- une incapacité à confirmer l'origine foudre d'un sinistre ;
- une perturbation d'activités de recherche à visée écologique qui se basent sur les prévisions météorologiques ;
- des coûts de maintenance supplémentaires pour une entreprise qui aura plus de difficultés à anticiper de potentielles dégradations de son infrastructure causées par un phénomène climatique extrême et/ ou mettra en moyenne plus de temps à localiser et à réparer l'origine d'une défaillance de son service causée par un impact de foudre ;
- des retards importants dans le secteur du transport (aviation, maritime, train, transport routier) en raison d'une non anticipation possible d'un phénomène météorologique dangereux.

3.5.6 Impact potentiel sur les systèmes informatiques

En affectant la synchronisation de données, les impacts potentiels d'un brouillage du GNSS vont **de l'altération au déni de service** des logiciels et systèmes informatiques (IT et OT : technologies de l'information et technologies opérationnelles) qui les utilisent, avec une répercussion sur les applications qui en ont besoin pour fonctionner.

3.6 Exemples de cas de brouillages du GNSS

3.6.1 Exemples de brouillages du GNSS traités par l'ANFR et ayant affecté le domaine maritime, fluvial ou portuaire

En métropole, **de multiples épisodes de brouillages causés par des brouilleurs GNSS embarqués à bord de véhicules ont été traités ces dernières années par l'ANFR.**

Des brouillages GNSS de plus forte puissance ont également été observés, en particulier dans le sud de la France, à l'occasion de séjours de personnalités.

Enfin des brouillages GNSS occasionnés par des équipements radioélectriques, électriques ou électroniques en défaut ont également été observés et traités par l'ANFR.

Certains de ces brouillages affectaient le domaine maritime, fluvial ou portuaire, même si la majorité des brouillages GNSS signalés à l'ANFR le sont encore aujourd'hui par l'aviation civile (DGAC).

Quelques exemples de ces brouillages sont présentés ci-après.

Septembre 2020 : En entrée et sortie d'un port sur la Manche, une suspicion de brouillage du GNSS était signalée par des pêcheurs

En septembre 2020, l'ANFR a reçu de la part de pêcheurs le signalement d'une perte du GNSS en entrée et sortie d'un port sur la Manche. Pour traiter cette suspicion de brouillage du GNSS, l'ANFR a eu besoin d'effectuer des mesures en mer. A cet effet, elle a bénéficié du soutien exceptionnel de la compagnie de gendarmerie maritime du Havre qui a embarqué sur l'une de ses vedettes côtières pendant une journée entière des agents de contrôle du spectre de l'ANFR qui ont effectué des recherches dans la bande de fréquences GNSS à l'aide de leurs équipements transportables, récepteurs et antennes directives. Les mesures relevées ont été étudiées a posteriori et d'autres recherches ont été menées sur les navires des plaignants et à terre. **Il s'est avéré que la cause de cette perte du GNSS était une combinaison de phénomènes : le dysfonctionnement de récepteurs GPS sur un chalutier et un brouillage concomitant de la fréquence AIS sur la zone considérée.** Le brouillage de l'AIS était causé par des émetteurs radio sur un camping voisin et dont les antennes étaient mal orientées, pointant vers l'antenne AIS du port. Cette dernière était saturée par les signaux reçus et ne pouvait plus assurer son fonctionnement normal.



Figure n° 19 – Photographies de l'intervention des agents de l'ANFR sur la Manche avec le soutien de la Gendarmerie Maritime - Source : ANFR

Novembre 2020 : Un brouillage GNSS sur le navire Marion Dufresne menaçait la réalisation d'un programme de recherche scientifique

Fin 2020, l'ANFR recevait le signalement d'un brouillage GNSS sur le navire Marion Dufresne, navire scientifique et polyvalent qui permet le lien avec les Terres australes et antarctiques françaises (TAAF). Le GNSS était utilisé ici par un capteur embarqué sur le navire qui analysait les caractéristiques de réception des signaux GNSS pour mesurer la composition de l'atmosphère. Ces mesures étaient réalisées dans le cadre du programme scientifique MAP-IO (Marion Dufresne Atmospheric Program Indian Ocean) dont l'objectif est d'étudier le comportement de l'atmosphère, ainsi que les processus océan-atmosphère ayant un impact sur le climat régional et la prévision numérique du temps. Ce brouillage risquait donc de mettre en péril certaines des recherches effectuées dans le cadre de ce programme. L'antenne de l'ANFR à La Réunion a pu agir rapidement, alors que le navire amiral de trouvait à son port d'attache à La Réunion pendant trois jours entre deux rotations vers les TAAF. Un agent de l'ANFR, accompagné d'un ingénieur du programme MAP-IO, est monté à bord. A l'aide de ses équipements de mesure, il a pu déterminer que la source du brouillage était sur le navire.

Il s'agissait en fait d'un phénomène de saturation du récepteur GNSS causé par la proximité trop grande avec une antenne installée récemment pour le service satellitaire IRIIDIUM. La solution préconisée a été un découplage spatial des antennes IRIIDIUM et GNSS.

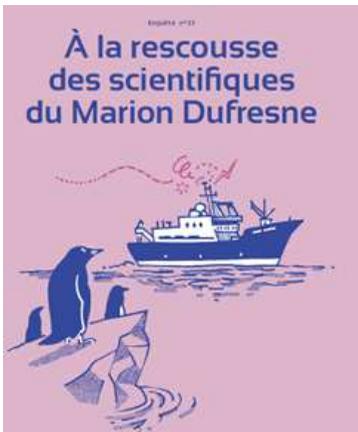


Figure n° 20 - Illustration de l'ouvrage « Brouillages d'Ondes. L'ANFR mène l'enquête! » - Source : ANFR



Figure n°21 – Photographie de l'ingénieur du programme de recherche présent lors de l'intervention sur le navire - Source : ANFR

Février 2022 : un brouillage du GNSS a été signalé par des ferries en arrivée et en sortie de port à Caen-Ouistreham

En février 2022, des ferries ont signalé à l'ANFR un brouillage du GNSS dans le port de Caen-Ouistreham. Le brouillage du GNSS, qui avait disparu au moment de la plainte, avait affecté trois ferries sur une période de deux - trois jours à des heures différentes et pendant des durées variables correspondant à leur présence dans le port et en approche ou en départ. **Ce brouillage était qualifié de critique** par les commandants des navires concernés car le positionnement dans le port de Ouistreham se fait à un mètre près pour éviter de s'échouer sur des bancs de sable et le GPS est un outil qu'ils jugent important à cet effet en particulier par temps de brume. **Certains récepteurs GPS étaient affectés, ceux des systèmes de navigation, et d'autres non, ceux utilisés pour le système Météo et l'AIS, ce qui peut être dû à l'emplacement des antennes correspondantes à bord ou à des capacités multi-constellations de certains systèmes.** Lorsque l'ANFR a été sollicitée, le brouillage avait disparu mais l'ANFR a lancé investigation sur site et rencontré la compagnie de ferries, notamment pour le cas où il réapparaîtrait. L'ANFR a installé un équipement de mesure spectrale sur le site pendant quelques semaines sur le port, pour veiller sur les fréquences GNSS et détecter toute réapparition du brouillage GPS. Il n'y a pas eu d'autre occurrence pendant la période d'observation par l'ANFR. **On suspecte, sans certitude néanmoins, la présence d'un véhicule équipé d'un brouilleur GPS sur un des parkings du port ou à proximité pendant les deux journées au cours desquelles les ferries ont subi le brouillage.**

Novembre 2019 : un brouillage GNSS de grande ampleur autour du port de La Ciotat était causé par un brouilleur anti drones paparazzi installé sur un yacht sous pavillon étranger

En novembre 2019, l'ANFR était sollicitée pour un brouillage GNSS de grande ampleur dans le sud-est de la France. Ce brouillage, signalé à l'ANFR par l'aviation civile et l'armée de l'air, affectait l'aéroport de Nice et l'aéroport de Hyères-Toulon ainsi qu'une étendue importante de l'espace aérien en altitude dans le sud de la France. **L'ANFR a pu localiser la source de ce brouillage sur un yacht en maintenance dans le port de La Ciotat grâce au croisement entre des mesures spectrales réalisées par une station radiogoniométrique de l'ANFR installée sur un point haut et d'autres données, notamment celles du réseau GNSS permanent (RGP) de l'Institut Géographique national (IGN).** Pour le traitement de ce brouillage, l'ANFR a activé un protocole qui permet une **coopération opérationnelle renforcée entre l'ANFR et la Direction de la Gendarmerie nationale (DGGN) pour la lutte contre les brouillages affectant la sécurité des mobilités.**

La coopération avec les équipes spécialisées de la Gendarmerie nationale, notamment la GTA (Gendarmerie du Transport Aérien) et la GMAR (Gendarmerie Maritime), s'est avérée très efficace. A noter que les navires en maintenance dans le port de La Ciotat avaient aussi perdu le GPS pendant les deux jours de ce brouillage mais n'ont pas sollicité l'ANFR, ce qui aurait permis une résolution plus rapide, d'où le conseil préconisé dans la suite de ce guide d'alerter l'ANFR en cas de suspicion de brouillage GNSS.

3.6.2 Exemples de brouillages GNSS traités par l'ANFR et ayant affecté d'autres domaines

Une grande part des brouillages du GNSS signalés à l'ANFR ces dernières années affectaient d'autres secteurs que ceux du transport maritime & fluvial et des applications portuaires, le premier d'entre eux étant le transport aérien. Des réseaux de communication (TETRA, 5G TDD) et des systèmes industriels font aussi partie des victimes recensées de brouillages du GNSS.

Ces exemples peuvent apporter des enseignements également pour les secteurs maritime, fluvial et portuaire.

Il suffit par exemple de remplacer un site aéroportuaire par un port maritime ou fluvial pour comprendre qu'elles auraient pu être les conséquences de tels brouillages sur la navigation ou le fret.

Si ces brouillages s'étaient produits à proximité d'un port, ils auraient pu affecter des applications utilisées sur des navires (AIS, etc.) ou des zones portuaires (AIS, réseaux de communication, logistique des conteneurs, systèmes d'un smart port 4.0, etc.).

Avril 2017 : un brouilleur GPS installé dans le coffre d'un véhicule garé sur le parking de l'aéroport de Nantes a retardé le départ de plusieurs avions

En avril 2017, l'ANFR a été sollicitée par la Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC) pour résoudre un brouillage du GNSS affectant l'aéroport de Nantes. Le brouillage GNSS empêchait les pilotes de plusieurs avions d'utiliser leur GPS, indispensable pour initier leurs coordonnées géographiques avant le décollage. Ces avions ont dû être tractés dans une autre zone de l'aéroport ce qui a causé des retards de trafic aérien.



Figure n°22 - Illustration de l'ouvrage « Brouillages d'Ondes. L'ANFR mène l'enquête ! » - Source : ANFR

Des agents du service régional de Donges de l'ANFR se sont déplacés sur site. Ils ont pu déterminer la cause du brouillage et en collaboration avec les forces de l'ordre la localiser exactement **dans le coffre d'un véhicule garé sur un parking proche du tarmac de l'aéroport de Nantes**. Il s'agissait d'un **brouilleur GPS laissé en fonctionnement** dans une voiture. Il a alors immédiatement été désactivé. **La possession et l'utilisation d'un brouilleur sont des délits ainsi que le fait de causer un brouillage préjudiciable. Le propriétaire du brouilleur a été poursuivi pour ces faits et été condamné par le tribunal de Nantes à 2 000 euros d'amende. Il a aussi dû payer les frais d'ouverture de sa voiture et une taxe administrative de 450 euros notifiée par l'ANFR pour frais d'intervention. Son brouilleur lui a également été confisqué.**



Figure n° 23 – Photographie du brouilleur saisi - Source : ANFR

En avril 2019, l'ANFR intervenait pour un brouillage intermittent du GNSS signalé par la DGAC. Ce brouillage générait des perturbations dans le trafic des avions, obligeant les pilotes à naviguer à vue lors des phases d'atterrissage. Des hélicoptères étaient aussi impactés. L'ANFR a placé dans un lieu d'intérêt un capteur spécifique permettant de détecter le passage de véhicules équipés de brouilleurs du GPS. A l'aide des données recueillies par ce capteur et des moyens de mesure spectrale transportables de l'ANFR, les agents de contrôle du spectre ont pu identifier des camions citernes équipés de brouilleurs GPS. L'ANFR a alors sollicité le soutien des forces de l'ordre pour l'interception de ces brouilleurs GPS. A cet effet, une opération de flagrance a été menée avec la police. Des brouilleurs ont été saisis. Ils ont pu être analysés sur place par les agents de l'ANFR. Ils étaient utilisés par les chauffeurs qui détournaient de l'essence en provenance des raffineries et ne souhaitaient pas que leur parcours soit suivi par la balise GPS installée par leur employeur sur le véhicule. Début 2022, l'ANFR a à nouveau résolu une affaire similaire : avec le soutien de la police, des chauffeurs de camions citernes équipés de brouilleurs GPS qui compromettaient la réception GPS d'avions et hélicoptères autour de Marignane ont été arrêtés.

En détournant de l'essence, ils coupaient les GPS des avions

Des routiers soupçonnés d'avoir utilisé des brouilleurs pour un trafic d'hydrocarbure ont perturbé le trafic aérien

Fin décembre 2021, les pilotes ont été perturbés par un brouillage intermittent du GNSS signalé par la DGAC. Ce brouillage générait des perturbations dans le trafic des avions, obligeant les pilotes à naviguer à vue lors des phases d'atterrissage. Des hélicoptères étaient aussi impactés. L'ANFR a placé dans un lieu d'intérêt un capteur spécifique permettant de détecter le passage de véhicules équipés de brouilleurs du GPS. A l'aide des données recueillies par ce capteur et des moyens de mesure spectrale transportables de l'ANFR, les agents de contrôle du spectre ont pu identifier des camions citernes équipés de brouilleurs GPS. L'ANFR a alors sollicité le soutien des forces de l'ordre pour l'interception de ces brouilleurs GPS. A cet effet, une opération de flagrance a été menée avec la police. Des brouilleurs ont été saisis. Ils ont pu être analysés sur place par les agents de l'ANFR. Ils étaient utilisés par les chauffeurs qui détournaient de l'essence en provenance des raffineries et ne souhaitaient pas que leur parcours soit suivi par la balise GPS installée par leur employeur sur le véhicule.



■ Dans la salle des contrôle de l'ANFR. A la, des données ont permis de déterminer la zone où les chauffeurs faisaient trafic.

"Ce genre d'impression est dangereuse car les pilotes sont gênés, ils perdent manœuvre".

« Dans la salle des contrôle de l'ANFR, A la, des données ont permis de déterminer la zone où les chauffeurs faisaient trafic. »

« Ce genre d'impression est dangereuse car les pilotes sont gênés, ils perdent manœuvre. »

« Ce genre d'impression est dangereuse car les pilotes sont gênés, ils perdent manœuvre. »

« Ce genre d'impression est dangereuse car les pilotes sont gênés, ils perdent manœuvre. »

"La station achète de l'essence qu'elle revend plus cher, le chauffeur se fait du fric".

« La station achète de l'essence qu'elle revend plus cher, le chauffeur se fait du fric. »

Figure n° 24 – Couverture médiatique de l'affaire de 2022 dans le journal La Provence (2022)

Février 2020 : une entreprise de la Drôme spécialisée dans le développement d'équipements professionnels GPS et Galileo pour la géolocalisation de haute précision subissait un brouillage du GPS

En février 2020, suite à la plainte pour **brouillage GNSS d'une entreprise de la Drôme spécialisée dans le développement d'équipements professionnels GPS et Galileo** pour la géolocalisation de haute précision, c'est **un équipement électronique en défaut** qui a été découvert par l'ANFR. En l'occurrence **une box internet qui émettait des rayonnements indésirables dans la bande de fréquences réservée au GNSS**, empêchait la réception du GNSS dans une zone assez importante autour du domicile du propriétaire de la box. Cette dernière a été remplacée par l'opérateur et le brouillage résolu.



Figure n°25 - Illustration de l'ouvrage « Brouillages d'Ondes. L'ANFR mène l'enquête ! » - Source : ANFR

Été 2020 : un brouillage GNSS affectait le fonctionnement d'un réseau TETRA du Ministère de l'intérieur en Île-de-France

A l'été 2020, un **brouillage GNSS affectant le fonctionnement d'un réseau TETRA** en Île-de-France a été signalé à l'ANFR. En effet **le GPS est utilisé pour la synchronisation de ce type de réseau**. Un défaut de synchronisation altère voire empêche le fonctionnement du réseau lui-même. Malgré plusieurs interventions du Service régional de Villejuif de l'ANFR, il n'a pas été possible de déterminer la source de **ce brouillage qui était intermittent et a fini par disparaître de lui-même**. L'hypothèse était celle d'un équipement électrique, électronique ou radioélectrique en défaut émettant des parasites électromagnétiques dans la bande de fréquences réservée au GNSS.

Février 2021 : dans le sud de la France, le fonctionnement de la 5G d'un opérateur mobile a été altéré par un brouillage du GPS

En février 2021, dans le sud de la France, le fonctionnement d'une antenne relais 5G d'un opérateur mobile a été affectée par un brouillage du GPS. La perte du GPS, qui est utilisé pour la synchronisation de cette antenne 5G TDD dans les fréquences 3,5 GHz, altèrait fortement le fonctionnement de cette antenne relais. L'opérateur n'avait pas sollicité l'intervention de l'ANFR pour rechercher la source de ce brouillage GPS, mais il a heureusement finalement disparu de lui-même, ce qui laisse supposer qu'un véhicule équipé d'un brouilleur GPS se serait pendant un certain temps près de ce site radio.

Printemps 2021 : les brouilleurs GPS embarqués sont parfois bien « déguisés »

Au printemps 2021, deux agents de l'ANFR ont relevé près de Marignane un signal suspect caractéristique d'un brouilleur GNSS alors qu'ils revenaient dans leur véhicule laboratoire d'une autre mission.



Figure n° 26 - Illustration de l'ouvrage « Brouillages d'Ondes. L'ANFR mène l'enquête ! » - Source : ANFR



Figure n° 27 - Illustration des effets du brouilleur GPS embarqué autour du véhicule - Source : ANFR

Ils identifiaient un véhicule professionnel hébergeant un brouilleur GPS.



Figure n° 28 - Brouilleur GPS découvert dans le véhicule professionnel - Source : ANFR

Avec le support des forces de l'ordre et un officier de police judiciaire, il a été mis fin à l'infraction qui pouvait avoir des conséquences sur le trafic aérien de Marignane. Le brouilleur GPS qui a été saisi était maquillé en clé USB. Malgré sa petite taille, il perturbait une large zone autour du véhicule dans lequel il était installé, ce qui avait permis à l'ANFR de le détecter à bonne distance. Son propriétaire a été mis en garde à vue et a dû répondre de ses actes devant la Justice. La peine encourue : une sanction pénale allant jusqu'à 6 mois d'emprisonnement et 30 000 euros d'amende.

22 mars 2023 : un brouillage de la fréquence L1 du GPS affectait des hélicoptères du SAMU et des avions dans les environs de l'aérodrome de Merville dans le Nord

Le 22 mars 2023, l'ANFR a été saisie par la DGAC pour un brouillage de la fréquence L1 du GPS. Ce brouillage affectait à la fois des hélicoptères du SAMU et des avions dans les environs de l'aérodrome de Merville (LFQT) situé sur les communes de Lestrem et de Calonne-sur-la-Lys dans le Pas-de-Calais et de Merville dans le Nord. Des hélicoptères des SAMU 62 et 59 avaient signalé des **pertes de position** les 15 et 16 mars. La veille, la DGAC avait aussi fait le constat, avec un avion de mesure dédié aux essais en vol, d'une **perte flagrante du signal GPS au décollage de l'aérodrome.**

Deux agents assermentés et habilités de l'antenne de Boulogne-Sur-Mer du Service Régional de Villejuif de l'ANFR ont immédiatement commencé les investigations le 22 mars 2023. En exploitant les informations relevées par l'avion de mesure de la DGAC et les réseaux de qualité de la réception GPS disponibles via le réseau RGP (réseau GNSS permanent) de l'IGN, les agents suspectaient l'utilisation d'un brouilleur large bande dans la bande GNSS. Ils se sont alors rendus sur le terrain à bord d'un véhicule laboratoire équipé d'un goniomètre sur le toit. Les agents étaient aussi munis de récepteurs et d'antennes directives pour les phases de recherche à pied.

Le jour même, ils ont localisé **un brouilleur GNSS à bord d'un véhicule d'entreprise, garé à Calais**, et sollicité un soutien auprès de la Police Nationale afin de permettre la saisie immédiate du matériel dont la seule possession est illégale. Les policiers arrivés sur place ont saisi le brouilleur et placé et le conducteur du véhicule en garde à vue.



Figure n°29 - Photo du brouilleur qui était connecté à la prise diagnostic du véhicule

– Source : ANFR

Cette affaire semblait résolue mais le lendemain la DGAC informait l'ANFR qu'il y a toujours du brouillage sur les fréquences du GNSS aux alentours de Merville. Les deux agents de l'ANFR se sont à nouveau déplacés sur le terrain. Cette fois-ci, leurs équipements de mesure les ont menés devant une maison individuelle. Les agents de l'ANFR ont sollicité un OPJ auprès de la gendarmerie, la détention d'un brouilleur pouvant être un signe d'activité criminelle. Le propriétaire de la maison a laissé entrer les gendarmes et l'ANFR. Il a remis aux gendarmes un brouilleur multi-bandes acheté sur Internet mais les agents de l'ANFR ont remarqué que malgré l'arrêt de cet équipement, le GNSS était toujours brouillé. Un deuxième brouilleur multi bandes identique a alors été découvert dans le cabanon de jardin. Les **deux brouilleurs multibandes** (téléphonie, WIFI, GPS), l'un installé dans la maison et l'autre dans l'abri de jardin, ont été saisis par la gendarmerie.



Figure n°30 - Photos des deux brouilleurs multibandes saisis dans l'habitation –
Source : ANFR

3.6.3 Exemples de brouillages du GNSS à l'étranger, ayant affecté le domaine maritime, fluvial ou portuaire

26 mars 2021 : aux Pays-Bas un brouillage GNSS de grande ampleur a affecté des navires sur l'Escaut

Le 26 mars 2021, aux Pays-Bas un brouillage GNSS de grande ampleur a affecté des navires sur l'Escaut. Les autorités néerlandaises ont rapidement découvert la source du brouillage, un **brouilleur GPS anti drones parapazzi installé sur un super yacht sous pavillon étranger** qui se trouvait près d'un port hollandais dans les environs de VLISSINGEN. Le commandant du navire a indiqué que ce brouilleur servait à protéger la vie privée des passagers du yacht contre des paparazzi qui utiliseraient des drones munis de caméras.

Le brouillage avait pendant un peu plus de 2 heures **perturbé le trafic maritime sur l'Escaut occidental en impactant le système d'identification automatique AIS**. Les navires sur l'Escaut avaient perdu l'usage de leur AIS. Ainsi, la position des navires ne pouvait plus être communiquée en temps réel aux systèmes de suivi maritime. **Ce brouillage affectait également l'espace aérien.**

Le cas a été relaté par le site belge FLOWS et dans **plusieurs articles de la presse néerlandaise** tels que :

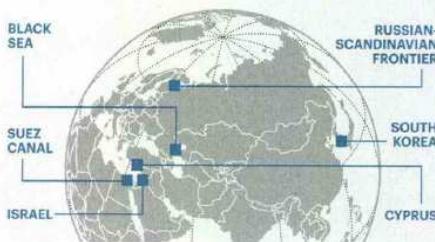
- « Verstoring scheepvaartverkeer Westerschelde mogelijk veroorzaakt door 'dronekiller' (*Perturbation du trafic maritime de l'Escaut occidental peut-être causée par un "tueur de drones*), du 29 mars 2021 (cf. bibliographie, 32.)
- « Navigatie van schepen op Westerschelde verstoord door 'dronekiller' van luxe jacht », - (*La navigation des navires sur l'Escaut occidental perturbée par le « tueur de drones » d'un yacht de luxe*) du 31 mars 2021 (cf. bibliographie, 30.). Traduction d'un extrait de cet article : « *La police de l'eau a trouvé un équipement sur un yacht de luxe qui interférait avec les signaux radio. En plus du GPS, l'appareil perturbait également les signaux GSM et WiFi. Le capitaine du yacht a déclaré qu'il avait à bord un « tueur de drones » illégal pour protéger la vie privée des personnes à bord, mais il a déclaré qu'il ne s'était pas rendu compte qu'il était allumé.* »
- “Drone killer’ verstoort GPS op Westerschelde” (*Un tueur de drones perturbe le GPS sur l'Escaut occidental*) (cf. bibliographie, 31.)

2020 : “Quand le GPS se perd”

Le 1er février 2020, Katherine Dunn publie dans Fortune l'article « **When GPS gets lost - The maritime shipping industry wouldn't be the behemoth it is today without satellite navigation. That's why a rising tide of mysterious GPS outages is a disaster waiting to happen** ». Traduction : *Quand le GPS se perd. L'industrie du transport maritime ne serait pas le mastodonte qu'elle est aujourd'hui sans la navigation par satellites. C'est pourquoi une marée montante de mystérieuses pannes de GPS est un désastre imminent.*

Every Year, More Dead Zones

GPS outages have gradually grown more prevalent over the past four years; many have occurred near global conflict zones.



FEBRUARY 2016

Black Sea ports
Hundreds of ships report seeing their GPS locations suddenly migrate dozens of miles inland. A report by U.S. researchers later links many of the incidents to visits to Russian-annexed Crimea by President Vladimir Putin and other senior Russian officials.

MARCH-APRIL 2016

South Korea

A six-day outage near the North Korean border affects more than 1,000 planes and 700 ships.

LATE 2017-PRESENT

Suez Canal

Persistent GPS outages plague the Egyptian ship-

ping artery. Potential causes include an insurgency in the nearby Sinai Peninsula and illegal fishing operations.

FALL 2017 & FALL 2018

Russian-Scandinavian frontier

Finnish and Norwegian authorities complain about jamming and spoofing of GPS signals near their borders with Russia

during NATO military exercises in the region. Russian officials deny responsibility.

JANUARY 2018-SEPTEMBER 2019

Cyprus and the "East Med"

Sporadic outages across the eastern Mediterranean, concentrated around Cyprus and near Lebanon and Israel. Cypriot and U.S. investigators

link the disruption to military activity in Syria.

JUNE-JULY 2019

Israel

Weeks of disruptions are reported by pilots taking off and landing at Tel Aviv's Ben Gurion airport. An Israeli official publicly blames Russia; a Russian official calls the charge "fake news."

Figure n°31 – Extrait de l'article « When GPS gets lost - The maritime shipping industry wouldn't be the behemoth it is today without satellite navigation. That's why a rising tide of mysterious GPS outages is a disaster waiting to happen » du 1er février 2020 dans Fortune

2016/2017 : en mer Noire, des navires étaient positionnés par leur GPS sur des sites terrestres, à proximité de l'aéroport de la ville russe de Gelendzhik !

En 2016/2017 en mer Noire des navires étaient positionnés par leur GPS sur des sites terrestres, à proximité de l'aéroport de la ville russe de Gelendzhik !

Plusieurs chercheurs avaient conclu à des leurrages du GPS probablement destinés à empêcher à des drones de voler près d'aéroports russes.

Source : <https://nrkbeta.no/2017/09/18/gps-freaking-out-maybe-youre-too-close-to-putin/>

2015 : les garde-côtes des États-Unis ont alerté d'une perte soudaine de signal GPS qui s'était produite sur plusieurs navires sortant d'un port non américain

En 2015, les garde-côtes des États-Unis avaient alerté d'une perte soudaine de signal GPS en sortie d'un port non américain. Cette perte des données GPS avait affecté plusieurs services et équipements qui utilisent les données GPS, tels que le radar de recherche de surface des navires, les unités gyroscopiques et le système d'affichage et d'information des cartes électroniques (ECDIS), altérant la détermination de la position, la détermination de la vitesse au sol, le gyroscope et les capacités d'évitement des collisions.

2014 : une collision entre bateaux dans une voie navigable en Allemagne pouvait laisser penser à un brouillage du GNSS, d'après le journaliste Guy Buesnel

En 2014, une collision entre bateaux dans une voie navigable en Allemagne pouvait laisser penser à un brouillage du GNSS, d'après le journaliste Guy Buesnel. Celui-ci a présenté cette théorie le 22 juin 2017 dans un article intitulé « Was GPS Interference to Blame for a Mysterious Maritime Collision in 2014? » (traduction : *Une interférence GPS était-elle à l'origine d'une mystérieuse collision maritime en 2014 ?*) (cf. bibliographie, 35.).

Traduction d'extraits de cet article :

- « En 2014, deux navires sont entrés en collision dans une voie navigable allemande très fréquentée. Mais lorsque les enquêteurs ont analysé les données GPS, cela a montré que les navires n'étaient jamais à moins de 500 m l'un de l'autre. Les interférences RF étaient-elles en cause ? »
- « Nous ne pouvons pas en être sûrs, mais la proximité de la collision avec les infrastructures terrestres signifie que les interférences GNSS pourraient être un facteur ».

En 2001, aux États-Unis, un brouillage a affecté le Port de Moss Landing en Californie

En 2001, réception GPS était perturbée dans l'ensemble du port de Moss landing en Californie. Plusieurs navires avaient dû désactiver le GPS et utiliser leurs radars alors que les conditions météorologiques étaient mauvaises. Les sources du brouillage GNSS ont été identifiées. Il s'agissait d'antennes de télévision pré-amplifiées défectueuses utilisées par des plaisanciers.

Ce cas est relaté dans un article de gpsworld (source : <https://www.gpsworld.com/the-hunt-rfi/>).



Figure n°32 – Port de Moss Landing, California, USA - Source : Internet

Des cas de problèmes du GNSS affectant le secteur maritime sont régulièrement rapportés au NAVCEN (Navigation Center – US Coast Guard)

Les cas de problèmes du GNSS (brouillages ou autres) affectant le secteur maritime signalés au NAVCEN (Navigation Center – US Coast Guard) sont inscrits dans la rubrique « GPS Problem Reports Status » du rapport du NAVCEN :

<https://www.navcen.uscg.gov/?Do=GPSReportStatus>

Certains de ces cas sont des brouillages du GNSS comme l'exemple traduit suivant :

- Événement n°1 : 30 juin 2021 (15h30 UTC) / 1er juillet 2021 - Canal de Suez - Type : Marine.
- Utilisateur : alarme intermittente sur tous les équipements connectés au GPS.
- NAVCEN : Le centre d'opérations GPS a examiné le segment de constellation et de contrôle GPS, il n'y a aucune anomalie connue qui pourrait affecter l'intégrité du signal GPS au moment et à proximité du problème signalé. La météo spatiale a été examinée et il est peu probable qu'elle ait eu un impact sur les performances du GPS. Il n'y avait pas de tests GPS autorisés dans la zone. Aucun rapport corrélé des partenaires inter institutions. Le rapport d'interférence est similaire à celui décrit par l'administration maritime des États-Unis dans l'avis maritime *2020-007-Various GPS Interference*. L'utilisateur est encouragé à signaler le problème à l'autorité de communication la plus proche.
- Cause : cause de l'interférence inconnue.
- Date de clôture NAVCEN : /19

4. La réponse opérationnelle de l'Etat

4.1 La réglementation

Les brouillages causés par des équipements ou installations radioélectriques, électriques ou électroniques utilisés de manière non conforme sont des infractions à la réglementation des fréquences. Ce sont des délits punis d'une peine de 6 mois d'emprisonnement et 30 000 € d'amende au titre des 2° et 2° bis de l'article L. 39-1 du CPCE (code des postes et des communications électroniques).

Article L. 39-1 du CPCE

Est puni de six mois d'emprisonnement et de 30 000 euros d'amende le fait : (...)

2° De perturber, en utilisant une fréquence, un équipement ou une installation radioélectrique, dans des conditions non conformes aux dispositions de l'article L. 34-9 ou sans posséder l'autorisation prévue à l'article L. 41-1 ou en dehors des conditions de ladite autorisation lorsque celle-ci est requise ou sans posséder le certificat d'opérateur prévu à l'article L. 42-4 ou en dehors des conditions réglementaires générales prévues à l'article L. 33-3, les émissions hertziennes d'un service autorisé, sans préjudice de l'application de l'article 78 de la loi n° 86-1067 du 30 septembre 1986 relative à la liberté de communication ;

2° bis De perturber, en utilisant un appareil, un équipement ou une installation, dans des conditions non conformes aux dispositions applicables en matière de compatibilité électromagnétique des équipements électriques et électroniques fixées dans le code de la consommation, les émissions hertziennes d'un service autorisé, sans préjudice de l'application de l'article 78 de la loi n° 86-1067 du 30 septembre 1986 relative à la liberté de communication ; (...)

Au titre de l'article L. 33-3-1 du CPCE, la vente, la possession et l'utilisation de brouilleurs d'ondes, donc notamment de brouilleurs du GNSS, sont strictement interdites en dehors de cas dérogatoires très strictement définis pour des applications étatiques.

Article L. 33-3-1 du CPCE

- 1. Sont prohibées l'une quelconque des activités suivantes : l'importation, la publicité, la cession à titre gratuit ou onéreux, la mise en circulation, l'installation, la détention et l'utilisation de tout dispositif destiné à rendre inopérants des équipements radioélectriques ou des appareils intégrant des équipements radioélectriques de tous types, tant pour l'émission que pour la réception.*

II. *Par dérogation au I du présent article et sans préjudice de l'article L. 213-2 du code de la sécurité intérieure, ces activités sont autorisées pour les besoins de l'ordre public, de la défense et de la sécurité nationale, ou du service public de la justice.*

La violation des interdictions concernant des brouilleurs est un délit qui expose le contrevenant à une peine de six mois de prison et 30 000 euros d'amende, en application du 4° de l'article L. 39-1 du CPCE.

Article L. 39-1 du CPCE

*Est puni de six mois d'emprisonnement et de 30 000 euros d'amende le fait : (...)
4° D'avoir pratiqué l'une des activités prohibées par le I de l'article L. 33-3-1 en dehors des cas et conditions prévus au II de cet article.*

4.2 Le traitement des brouillages du GNSS par l'ANFR, autorité en charge de la planification, de la gestion et du contrôle du spectre

L'ANFR, au titre de sa mission de contrôle du spectre radioélectrique en France (voir détails en annexe), traite les cas de brouillages du GNSS qui lui sont signalés.

L'ANFR est un établissement public administratif placé auprès du ministre de l'Economie et des Finances, en charge de la planification, de la gestion et du contrôle de l'ensemble du spectre des fréquences en France.

Ses missions sont définies dans le code des postes et des communications électroniques (CPCE).

Les menaces que les brouillages, offensifs ou non intentionnels, font peser en provoquant des altérations voir des dénis de service des applications qui ont besoin des fréquences concernées pour transmettre des informations ou des ordres, n'ont rien à envier aux menaces liées aux attaques informatiques. **Les brouillages du GNSS, en empêchant la disponibilité des données PNT des signaux GNSS, constituent une menace cyber à part entière.**

L'action de police du spectre menée par l'ANFR participe à la sécurité numérique et à la continuité des activités critiques, sociales et économiques.

- Dans le cadre de **sa mission de contrôle du spectre**, l'ANFR fait respecter les règlements qui régissent l'utilisation du spectre radioélectrique et intervient en cas d'infractions à la réglementation des fréquences et notamment de brouillages.

- Au titre de l'article L. 40 du CPCE, ses agents habilités et assermentés disposent de pour investiguer et constater les cas de violation de la législation. Ils peuvent dresser un procès-verbal transmis au Procureur de la République pour poursuite pénale.

Pour protéger le spectre radioélectrique, l'ANFR mène des actions préventives et curatives, visant à vérifier la bonne utilisation du spectre par les installations et réseaux, surveiller le marché des équipements radioélectriques et à remédier aux brouillages. Environ 1800 signalements de brouillage sont soumis annuellement à l'ANFR pour traitement ces dernières années !

La Direction de contrôle du spectre (DCS) de l'ANFR compte environ 120 personnes pour couvrir l'ensemble du territoire métropolitain et ultra-marin. Les agents du contrôle du spectre de l'ANFR mènent leurs investigations sur site en se déployant à partir d'implantations locales : cinq centres en régions (Toulouse, Villejuif, Donges, Aix-Marseille, Est), le Centre de Contrôle International (Rambouillet) et les antennes Antilles-Guyane et La Réunion-Mayotte. Ils sont hautement spécialisés et munis d'équipements sophistiqués fixes, transportables et mobiles pour réaliser des analyses du spectre et détecter et localiser les émissions illégales.



Figure n°33 : Exemples d'équipements utilisés par l'ANFR pour le traitement des brouillages – Source : ANFR

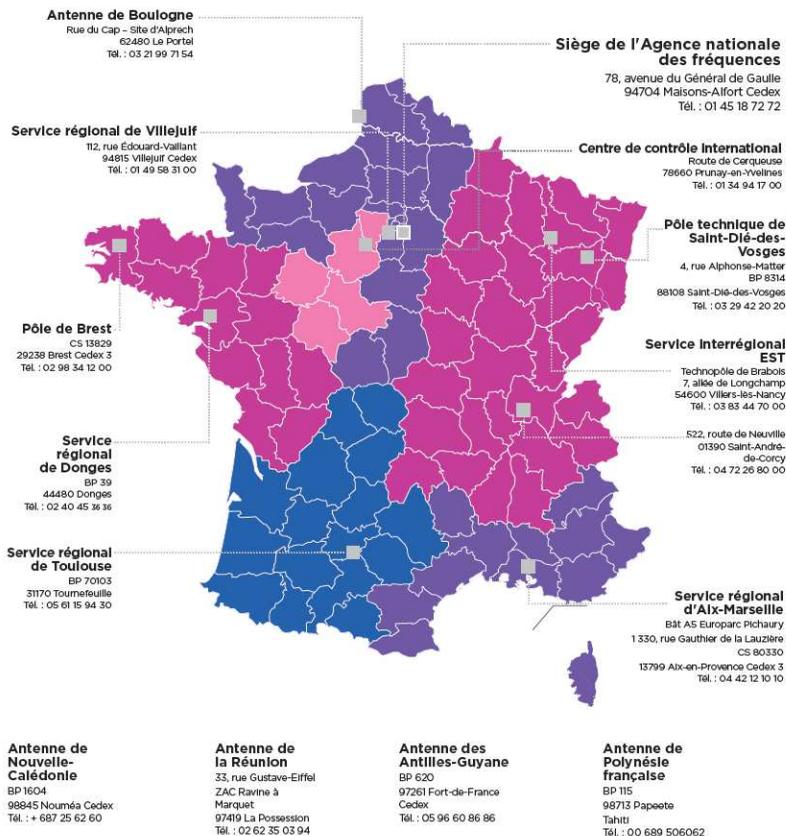


Figure n°34 : Organisation de la présence territoriale du Contrôle du Spectre de l'ANFR - Source : ANFR

Note : l'ANFR est également présente notamment pour des missions de contrôle du spectre en Nouvelle Calédonie et en Polynésie française.

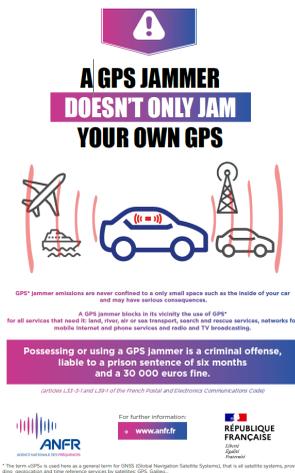


Figure n°36 : affiche de l'ANFR sur les brouilleurs GPS, en anglais – Source : ANFR

L'ANFR a étendu ces opérations de communication via la publication de cas de brouillages GNSS résolus dans « les enquêtes de l'ANFR » dans sa newsletter, sur son site Internet dans la rubrique « Contrôler » et dans l'ouvrage « Brouillages d'ondes. L'ANFR mène l'enquête ! » et sa traduction en anglais « Radio frequency interference. ANFR investigates ! ».

Ces ouvrages sont disponibles sur son site Internet :

<https://www.anfr.fr/contrôler/traitement-des-brouillages/les-enquetes-de-lanfr/livret>

<https://www.anfr.fr/contrôler/traitement-des-brouillages/les-enquetes-de-lanfr/radio-frequency-interference-anfr-investigates>

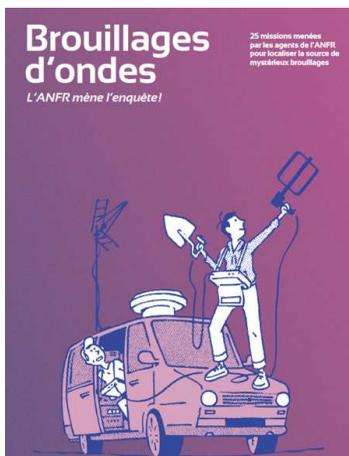


Figure n°37 : couvertures de l'ouvrage de l'ANFR – Source : ANFR

La reprise par les médias de certaines affaires de brouillages du GNSS résolues par les agents de l'ANFR (Nantes, Lyon, Marseille, etc.) participe également à la sensibilisation.

4.3.2 Actions pédagogiques pour promouvoir une bonne utilisation des fréquences, limiter les risques de brouillage et réduire leurs impacts

Les brouillages du GNSS ne sont pas toujours causés par des brouilleurs. Ils peuvent aussi être causés par une utilisation non conforme de toutes sortes d'équipements radioélectriques, électriques et électroniques.

A cet égard, des **actions pédagogiques plus globales** sont menées par l'ANFR pour **rappeler les règles à suivre pour l'utilisation de tous équipements, appareils et installations radio, électriques et électroniques afin de réduire le risque d'interférences.**

Afin que chacun devienne un acteur vigilant, aussi prudent dans l'espace hertzien que dans l'espace numérique et dans l'espace physique, l'ANFR développe plusieurs actions pédagogiques (des plaquettes pédagogiques, des rubriques sur son site Internet, un livre, des articles dans sa newsletter)

- ✓ **Etre vigilant dans l'espace hertzien, c'est ne pas être responsable d'un brouillage** en raison d'une utilisation non conforme ou d'un défaut d'entretien ou d'installation d'un équipement radioélectrique, électrique ou électronique ou de l'utilisation illégale d'un brouilleur.

Pour cela il est important de **connaître et respecter** :

- **la réglementation afférente à l'utilisation des fréquences ;**
 - **la réglementation relative aux équipements radioélectriques, électriques ou électroniques** et s'assurer que ceux que l'on utilise sont bien conformes à la réglementation en vigueur (marquage CE notamment), utilisés selon les règles en vigueur et le mode d'emploi fourni et maintenus en bon état.
- ✓ **Être vigilant dans l'espace hertzien, c'est aussi savoir réagir efficacement,** notamment en alertant l'ANFR si l'on est soi-même victime d'un brouillage, afin d'en limiter les effets.

5. Conseils pratiques aux acteurs des domaines maritime, portuaire et fluvial pour renforcer leur résilience face à la menace de brouillages du GNSS

La prise de conscience que le risque zéro de brouillage GNSS n'existe pas est indispensable.

Il n'existe en effet aucun moyen pratique d'éliminer complètement les risques de brouillage du GNSS, mais des mesures peuvent être prises pour réduire considérablement les impacts de ces brouillages. Ces mesures sont détaillées dans les paragraphes 5.1 et 5.2. Elles sont résumées dans le paragraphe 5.3.

Le paragraphe 5.1 présente des mesures pour se préparer à la survenue possible d'un brouillage GNSS :

- prendre conscience que le risque zéro n'existe pas et intégrer cette menace dans sa politique de gestion des risques numériques et globaux ;
- réaliser une analyse des risques et des impacts potentiels ;
- accroître sa robustesse pour répondre aux besoins des activités ;
- développer une capacité de détection des brouillages GNSS ;
- préparer des capacités de réponse opérationnelle en cas de brouillage (plan de continuité d'activité, plan de communication de crise, alerte de l'ANFR) ;
- sensibiliser et former le personnel.

Le paragraphe 5.2 présente des mesures pour répondre à la survenue d'un brouillage GNSS :

- détecter le brouillage GNSS ou une forte suspicion de brouillage GNSS ;
- mettre en œuvre un plan de continuité d'activité ;
- appliquer un plan de communication de crise ;
- alerter l'ANFR ;
- mettre en œuvre le plan de reprise d'activité lorsque le brouillage est résolu ;
- réaliser un retour d'expérience.

5.1 Se préparer

5.1.1 Prendre conscience de la menace de brouillages du GNSS

La prise de conscience que le risque zéro de brouillage GNSS n'existe pas est **indispensable**, car il n'existe aucun moyen pratique d'éliminer complètement les risques d'interférences GNSS.

Ce constat doit permettre de **prendre en compte le brouillage GNSS dans sa politique de gestion des risques** affectant la sécurité et la sûreté de son activité.

5.1.2 Réaliser une analyse des risques et des impacts potentiels

Il est recommandé de procéder en premier lieu à **une analyse des risques et des impacts potentiels sur son activité**.

Pour cela, plusieurs étapes, à mener en associant tous les acteurs concernés, sont indispensables :

- **Cartographier de manière exhaustive les usages du GNSS**, pour la géolocalisation ou la synchronisation, **dans toutes ses applications** maritimes, fluviales ou portuaires mais aussi celles concernant d'autres domaines participant de l'écosystème maritime, fluvial et portuaire tels que les communications électroniques, les réseaux et systèmes industriels, l'énergie, etc.

Il s'agit **d'identifier les équipements, systèmes et logiciels dépendant de la bonne réception des signaux GNSS**, pour des informations de localisation ou de synchronisation (cf. paragraphes 2.2 et 2.3) parmi les différentes catégories suivantes :

- systèmes utilisés pour la navigation maritime et le positionnement des navires et des bateaux ;
- systèmes utilisés pour la signalisation maritime ;
- systèmes utilisés pour la sécurité et la surveillance de la navigation ;
- systèmes utilisés pour le fret et les applications portuaires ;
- systèmes utilisés pour les autres activités maritimes (génie maritime, bathymétrie, océanographie, etc) ;

- systèmes utilisés dans des domaines connexes : réseaux de communications électroniques ; réseaux de radiodiffusion ; réseaux et systèmes industriels ; drones ; actifs relatifs à l'énergie ; systèmes de météorologie ; systèmes informatiques, cloud computing et data centers ; etc.
- **Répertorier les divers risques encourus :**
 - déterminer la dépendance de ces équipements, systèmes et logiciels à la bonne réception du GNSS
 - évaluer la robustesse des équipements face à un brouillage ou à un leurrage
- **Estimer la probabilité des risques**, en alliant la liste des risques encourus à une veille de l'état de la menace
- **Evaluer les impacts potentiels**
 - d'une perte (par brouillage)
 - ou d'une altération (par leurrage) des informations du GNSS

5.1.3 Accroître sa robustesse

L'analyse des risques et des impacts potentiels peut conduire, dans le cadre d'une politique de sécurité et de sûreté, à renforcer la robustesse de certains récepteurs GNSS ou à utiliser des moyens alternatifs.

A cet égard, plusieurs actions peuvent être entreprises :

- **s'équiper en récepteurs GNSS robustes face aux brouillages**, notamment l'utilisation de récepteurs multi-constellations et / ou multi fréquences GNSS et / ou disposant d'antennes « intelligentes » ;
- **s'équiper en récepteurs robustes face au leurrage**, permettant de contrôler l'intégrité du GNSS en utilisant des signaux GNSS à authentification (Galileo en bande E6) et / ou disposant d'antennes « intelligentes ».

Par exemple les stations DGNS (Differential GNSS ou système global de navigation par satellite différentiel) au standard IALA ou les systèmes d'augmentation satellitaire comme WAAS (Wide Area Augmentation System) et EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) qui fournissent des informations d'intégrité.

A noter que les récepteurs les plus récents implémentent désormais des algorithmes RAIM (Receiver Autonomous Integrity Monitoring ou surveillance autonome de l'intégrité du récepteur) ;

- **mettre en place l'utilisation, alternative ou en hybridation, d'informations de PNT indépendantes du GNSS** : capteurs inertiels, centrale inertielle, étoiles, GSM, Wifi, etc.
- **former à l'utilisation de modes alternatifs** de navigation traditionnels (compas, étoiles, etc.) ;
- **intégrer les risques de brouillages GNSS dans l'élaboration des cahiers des charges** spécifiques à la sécurité des installations et services qui utilisent des signaux GNSS.

5.1.4 Développer des capacités de détection des brouillages du GNSS

Pour minimiser les effets d'un brouillage du GNSS, il convient d'être en capacité de détecter un brouillage du GNSS ou tout du moins une forte suspicion de brouillage. En effet, la détection est une capacité essentielle qui élève le niveau global de sécurité.

La détection :

- **appuie les opérations de réponse**. Elle permet de **déclencher les actions de remédiation** y compris le **signalement auprès de l'ANFR** lui permettant d'intervenir pour mettre fin au brouillage.
- **évite de se baser sur des équipements** qui :
 - soit sont **en déni de service** ;
 - soit donnent **une position ou une information temporelle erronées**.

Ainsi, une capacité de détection doit être préparée et organisée.

Elle implique la **vigilance des équipes** (équipage du navire, autorités portuaires, etc.) **aux différentes sources d'informations pertinentes disponibles** (alarmes, perte GNSS, etc.) **pour y détecter les indices ou les signes** d'une perte des signaux GNSS et d'un potentiel brouillage GNSS.

A noter que certains systèmes qui surveillent spécifiquement l'état des signaux GNSS reçus, peuvent être disponibles, tels que :

- **des capteurs dédiés à la détection de brouillage du GNSS ou de brouilleurs GNSS**. Ils transmettent des alertes en cas de brouillage ;

- **des récepteurs GNSS équipés de fonctionnalités spécifiques permettant de contrôler la qualité de l'information GNSS.** Ils peuvent ainsi alerter d'un brouillage ou d'un leurrage du GNSS, comme :
 - **les stations DGNS** (système global de navigation par satellite différentiel) au standard IALA (International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities, ou Association internationale de signalisation maritime (AISM)) ;
 - **les systèmes d'augmentation satellitaire** comme WAAS et EGNOS qui fournissent des informations d'intégrité ;
 - **les récepteurs utilisant des données GNSS avec authentification ;**
 - **les algorithmes RAIM** (Receiver Autonomous Integrity Monitoring).

Parmi les **pratiques possibles pour détecter un brouillage du GNSS**, quelques exemples sont listés ci-après :

1° Sur les navires

- **l'utilisation régulière d'un radar et d'une carte électronique Intercalaire d'affichage et d'information ECDIS à proximité des côtes** pour identifier des incohérences entre les relèvements radar et la position GNSS ;
- **la comparaison des informations entre la carte et l'échosondeur** pour identifier des incohérences ;
- **la perte ou une défaillance de l'AIS ;**
- **le déclenchement d'alarmes sur les appareils de navigation utilisant le GNSS.** A noter : sur les navires SOLAS, une perte de signal GNSS engendre une alarme sur le système de gestion centralisé du navire;
- **le déclenchement d'alarmes au niveau de capteurs spécifiques pour la détection de brouillages GNSS.**
- **le déclenchement d'alarmes au niveau de récepteurs GNSS équipés de fonctionnalités pour contrôler la qualité de l'information GNSS.**

2° Dans les ports, CROSS et sémaphores :

- **la perte ou une défaillance de la réception de l’AIS dans un secteur donné** qui peut être due à un brouillage du GNSS ou un brouillage de l’AIS notamment (ex : perte d’identification, etc.) ;
- **le déclenchement d’alarmes le cas échéant au niveau d’équipements ou de logiciels spécifiques de détection de brouillages GNSS.**
- **le déclenchement d’alarmes au niveau de capteurs spécifiques pour la détection de brouillages GNSS.**
- **le déclenchement d’alarmes au niveau de récepteurs GNSS équipés de fonctionnalités pour contrôler la qualité de l’information GNSS.**

5.1.5 Préparer un plan de continuité d’activité et un plan de reprise d’activité

Il convient de développer un **plan de continuité d’activité** à appliquer en cas de brouillage du GNSS pour assurer un fonctionnement dégradé ou optimal tant que le brouillage n’est pas résolu.

Afin de permettre la reprise de l’utilisation des signaux GNSS lorsque le brouillage du GNSS est résolu, un **plan de reprise d’activité** pour revenir à un fonctionnement nominal doit être élaboré. A noter que lorsque la réception des signaux GNSS est rétablie, il peut être nécessaire de recouper la position avant de revenir à un mode normal.

5.1.6 Construire un plan de communication de crise

La communication est un aspect essentiel de la gestion efficace d’un brouillage GNSS.

A cet égard, il convient de **construire un processus et un circuit de communication de crise** pour informer le management et les autorités de sécurité sectorielles.

Il convient également d’alerter l’ANFR afin de permettre la résolution du brouillage.

Plus de détails sur l’alerte de l’ANFR dans le paragraphe suivant.

5.1.7 Mettre en place un processus pour alerter l’ANFR

La résolution du brouillage est un mécanisme de remédiation.

C’est même la remédiation ultime.

Signaler le brouillage GNSS à l'ANFR, c'est lui permettre le cas échéant de :

- lancer une investigation sur site par ses agents assermentés équipés de matériels de pointe ;
- rechercher l'équipement source du brouillage et son utilisateur ;
- mettre fin à la perturbation ;
- et sanctionner si nécessaire le responsable ce qui contribue notamment à réduire le risque de récurrence.

Ainsi, et ce même si l'on dispose de récepteurs GNSS robustes résistant au brouillage, **il est essentiel de mettre en place un processus pour alerter l'ANFR, afin de lui permettre d'intervenir pour résoudre le brouillage.**

Mettre en place ce processus l'ANFR nécessite de :

- **définir les personnes susceptibles de remonter cette alerte** : les entités qui ont l'habitude de solliciter l'ANFR en cas de brouillages de fréquences attribuées à PNM tels que les Affaires maritimes, les CROSS, les capitaineries, ainsi que les compagnies maritimes, peuvent être les points initiateurs de l'alerte à l'ANFR ou des intermédiaires.

Il est important dans tous les cas que l'ANFR puisse, après réception du signalement du brouillage, solliciter directement la victime du brouillage du GNSS pour recueillir le cas échéant des détails complémentaires et pour mener au mieux son investigation sur site.

Au fur et à mesure de l'utilisation des recommandations de ce guide, il pourrait être préconisé une chaîne d'information privilégiée via un ou plusieurs de ces acteurs.

- **former ces personnes** pour qu'elles puissent le moment venu remplir le formulaire spécifique que l'ANFR a développé et le transmettre aux services de contrôle du spectre de l'ANFR.

Ce formulaire de « signalement d'un brouillage relatif à un récepteur GNSS » est disponible sur son site internet et est décrit dans le paragraphe 5.2.4.

5.1.8 Sensibiliser et former le personnel

Il est important de sensibiliser tous les personnels concernés aux risques de brouillage GNSS.

L'objectif est de **développer et maintenir la familiarité de ces personnels avec les réflexes et processus de détection et de réaction** (continuité d'activité, communication, alerte).

A cet égard, il est utile de prévoir régulièrement des séances de formation. Il peut être envisagé d'organiser des simulations de cas de pertes GNSS ou éventuellement des exercices, en obtenant les autorisations nécessaires.

5.2 Réagir efficacement face à la survenue d'un brouillage du GNSS

Il n'existe aucun moyen pratique d'éliminer complètement les risques d'interférences GNSS, mais des mesures peuvent être prises pour réduire considérablement les impacts de ces brouillages.

5.2.1 Le détecter !

Il ne s'agit pas de détecter formellement un brouillage du GNSS mais plutôt une défaillance du GNSS pouvant laisser suspecter un brouillage, si les récepteurs GNSS ne sont pas en panne.

A noter qu'en cas de défaillance du GNSS, il peut aussi être intéressant de vérifier si le GNSS n'est pas l'objet d'un problème plus global comme par exemple, en raison d'une éruption solaire. A cet égard, plusieurs sites peuvent servir de référence opérationnelle sur l'état des services GNSS, comme par exemple :

- La page du service support Galileo :

[Constellation Information | European GNSS Service Centre \(gsc-europa.eu\)](https://gsc-europa.eu)

- La page du service support GPS :

[GPS Constellation | Navigation Center \(uscg.gov\)](https://uscg.gov)

La détection implique la vigilance des équipes concernées (équipage du navire, autorités portuaires, etc.) aux différents signaux et alertes disponibles en appliquant le processus décrit dans le paragraphe 5.1.3.

La surveillance peut impliquer différentes méthodes selon les équipements en place :

- la détection d'une perte ou d'une défaillance d'un système (ex : AIS) qui utilise le GNSS ;

- **l'identification d'incohérence** entre des informations GNSS et des informations fournies par des relèvements n'utilisant pas le GNSS (ex : radar) ;
- **le déclenchement d'alarmes** sur les appareils de navigation utilisant le GNSS ;
- **la réception d'alarmes ou une information sur le niveau d'intégrité et de qualité du GNSS** intégrées dans certains récepteurs GNSS ou certains systèmes utilisant les données GNSS ;
- **la réception d'alarmes remontées par des capteurs spécifiques de brouillage du GNSS.**

5.2.2 Mettre en œuvre le plan de continuité d'activité

Il s'agit de **déclencher un mécanisme et des modes de fonctionnement préparés à l'avance** (paragraphe 5.1.5) **pour assurer la continuité de l'activité en mode optimal ou dégradé** face à une perturbation des signaux GNSS.

Exemples :

- **utiliser des données PNT indépendantes du GNSS ;**
- **utiliser des moyens de navigation traditionnels ;**
- **garder des distances de sécurité pendant la navigation côtière ;**
- **arrêter le navire**, s'il est impossible de déterminer la position du navire par rapport aux dangers pour la navigation ;
- etc.

5.2.3 Appliquer le plan de communication de crise

Il est essentiel de suivre le plan de communication ad hoc défini au 5.1.6 afin de notifier l'évènement de perte / brouillage GNSS au management et aux autorités sectorielles et également d'alerter l'ANFR (cf. 5.2.4).

5.2.4 Alerter l'ANFR

La suspicion de brouillage GNSS doit faire l'objet d'un signalement à l'ANFR, même si l'on dispose de récepteurs GNSS robustes et qu'un plan de continuité d'activité a été mis en place.

La résolution du brouillage est en effet la remédiation ultime.

Un brouillage du GNSS ne disparaît généralement pas de lui-même et la sévérité de son impact est souvent liée à sa durée.

A cet effet il est nécessaire de pouvoir faire intervenir la Police du Spectre, en l'occurrence l'ANFR en utilisant le processus d'alerte qui a été mis en place (cf. 5.1.7).

L'alerte de l'ANFR doit être aussi rapide que possible via le formulaire spécifique disponible sur son site Internet (www.anfr.fr) dans la rubrique « brouillages » (cf. infra).

Celui-ci **détaille des informations à fournir pour aider l'investigation** : notamment la durée, la récurrence ou la permanence, la localisation et des précisions sur les récepteurs GNSS concernés. **Il est à transmettre au service régional de l'ANFR responsable de la zone géographique dans laquelle le brouillage est constaté**, avec copie au Bureau de Coordination National (BCN) de l'ANFR (bcn@anfr.fr).

A réception de ce formulaire l'ANFR analysera la plainte et, lancera, si nécessaire, une investigation technique sur le terrain avec ses agents assermentés et habilités et équipés de matériels de pointe, afin de localiser la source du brouillage, de résoudre le brouillage et de sanctionner le responsable le cas échéant.

Formulaire de signalement à l'ANFR d'un brouillage relatif à un récepteur GNSS

A télécharger sur le site de l'ANFR : <https://www.anfr.fr/controler/traitement-des-brouillages/le-traitement-dun-brouillage-comment-ca-marche-de-la-demande-dintervention-a-la-resolution>



Signalement d'un brouillage relatif à un récepteur GNSS - 02/12/2021

Télécharger

Détails du formulaire (version de novembre 2023 / susceptible d'évoluer) :

 <p>RÉPUBLIQUE FRANÇAISE <i>Liberté Égalité Fraternité</i></p>	DEMANDE D'INTERVENTION RELATIVE A UNE STATION D'UN RESEAU OUVERT AU PUBLIC	 <p>ANFR AGENCE NATIONALE DES FREQUENCES</p>
---	---	---

À adresser à :

AGENCE NATIONALE DES FREQUENCES / **Direction du Contrôle du Spectre**
(Télécharger la carte des zones de compétence des services de contrôle en cliquant : [ici](#))
par mél. à l'adresse (sélectionner le service compétent :)@anfr.fr

DEMANDEUR

Société : []
Auteur de la demande (*personne à contacter*) : []
Adresse : []
Code Postal : [] Localité : []
Tél. fixe : [], Mobile : [],
Mél. : []@ []

RENSEIGNEMENTS TECHNIQUES (à compléter obligatoirement sinon la demande n'est pas recevable)

Fréquence(s) ou bande de fréquences perturbée(s) : **1575.42 MHz ou autres**

Adresse du site impacté : []

Code Postal : [] Ville : []

Coordonnées géographiques (*en WGS84, pour une visualisation via www.geoportail.gouv.fr/*) :

Latitude : []° []' []" (N / S ?)

Longitude : []° []' []" (E / O ?)

Descriptif de l'équipement dont la fréquence est perturbée :

- **Marque** : []
- **Type** : []
- **Marquage CE visible** : Oui Non. Si oui, lequel ? []
- **Date d'achat ou de mise en service** : [] / [] / []

FOURNISSEUR DE L'EQUIPEMENT PERTURBE (ou entité chargée de l'entretien de l'équipement)

Nom : []
Adresse : []
Code Postal : [] Localité : []
Contact : [] Téléphone : []
Mobile : [] Mél. : []@ []

Avant toute demande d'instruction de brouillage auprès de l'ANFR, le demandeur doit s'assurer de la conformité de son installation (ex : découplage d'antenne...) afin de vérifier que celle-ci n'est pas à l'origine des perturbations constatées.

* Pour les radioamateurs, la déclaration d'installation devra au préalable avoir été effectuée.

Date : [] / [] / [], **Signature du demandeur**
[]

RENSEIGNEMENTS CONCERNANT LE DYSFONCTIONNEMENT OBSERVÉ

⇨ **Le brouillage est constaté sur un ou plusieurs systèmes de :**

Positionnement par satellites : **Constellation ?** Récepteur : (**Autonome / Intégré ?**)

Autre équipement sans fil (à préciser) :

⇨ **Depuis quelle date le constatez-vous ?** / /

⇨ **Est-il permanent ?** Oui.

Si "Non" (brouillage intermittent), préciser toutes informations permettant son constat lors de l'intervention des agents du contrôle du spectre de l'ANFR :

⇨ **Nature du brouillage (suite à un éventuel diagnostic d'un professionnel) :**

Porteuse Transmission de données bruits paroles

Autres ou précisions supplémentaires :

⇨ **Quels sont les autres équipements radioélectriques utilisés sur le site, plus particulièrement le dernier installé ?**

⇨ **Nature du brouillage (suite à un éventuel diagnostic d'un professionnel) :**

Porteuse Transmission de données bruits paroles

Autres ou précisions supplémentaires :

⇨ **Votre voisinage vous a-t-il fait part d'un problème similaire de brouillage ?**

Oui Non.

Si oui, sur quel système ?

⇨ **Identification éventuelle de l'utilisateur de l'équipement perturbateur :**

(Dans cette rubrique, les commentaires libres doivent être objectifs et jamais excessifs ou insultants)

⇨ **Autres précisions qu'il vous semble utile de nous communiquer :**

Les informations portées sur ce formulaire font l'objet d'un traitement informatisé de données personnelles vous concernant dont le responsable de traitement est l'ANFR. Dans le cadre du contrôle de l'utilisation du domaine public des fréquences radioélectriques, ce traitement est destiné à permettre le dépôt de demandes d'Instruction de Brouillage (DIB). Les données fournies peuvent être communiquées aux services de l'ANFR, affectataires et opérateurs de téléphonie mobile en cas de brouillage par leurs équipements. Les données sont archivées le temps du traitement du dossier qui ne pourra excéder 2 ans. Ce traitement repose sur l'exécution d'une mission d'intérêt public (article L43 alinéa 6 du CPCE). Conformément au règlement européen 2016/679 du 27 avril 2016 et à la loi pour une République numérique du 7 octobre 2016, vous bénéficiez du droit d'accès, de rectification, d'effacement, d'opposition, de limitation du traitement et du droit à la mort numérique, en contactant le délégué à la protection des données à l'adresse suivante : dpo@anfr.fr et vous pouvez introduire une réclamation auprès de la CNIL.

ANNEXES

Joindre des éléments utiles pour le traitement de la demande (carte indiquant une zone de perturbation, les analyses spectrales réalisées par un professionnel, les autres constats techniques ou tests (coupure électrique, changement de batterie/piles ...))

5.2.5 Mettre en œuvre le plan de reprise d'activité

Lorsque le brouillage GNSS est résolu et que la réception GNSS est rétablie et confirmée par les utilisateurs par exemple dans le domaine maritime en recoupant la position GNSS du navire, il s'agit d'**appliquer le plan de reprise d'activité qui aura été préparé préalablement** (paragraphe 5.1.5).

5.2.6 Faire un retour d'expériences (retex)

Il est important de réaliser un retour d'expérience ou « retex » suite à un brouillage subi.

Les enseignements du retex permettent de capitaliser de l'expérience et servir à la sensibilisation et à la formation des personnels.

Le cas échéant, ils permettront d'améliorer l'analyse de risques et / ou les processus et moyens de réponse.

 <p>MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET DE LA COHÉSION DES TERRITOIRES</p> <p><i>Liberté Égalité Fraternité</i></p>	<p>L'essentiel pour se protéger contre la menace d'un brouillage du GNSS</p>	 <p>RÉPUBLIQUE FRANÇAISE</p> <p><i>Liberté Égalité Fraternité</i></p>  <p>ANFR AGENCE NATIONALE DES FREQUENCES</p>
<p>Se préparer</p>		<p>Réagir efficacement</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Prendre conscience de la menace des brouillages du GNSS • Réaliser une analyse de risques et des impacts potentiels • Accroître sa robustesse • Développer des capacités de détection • Préparer un plan de continuité d'activité et un plan de reprise d'activité • Construire un plan de communication de crise • Mettre en place un processus pour alerter l'ANFR • Sensibiliser et former le personnel 		<ul style="list-style-type: none"> • Détecter le brouillage du GNSS • Mettre en œuvre le plan de continuité d'activité • Activer le processus de communication de crise et informer les autorités • Alerter l'ANFR • Mettre en œuvre le plan de reprise d'activité • Réaliser un retour d'expérience (retex)

Liste des abréviations

3GPP	3rd Generation Partnership Project
ADN	Accord Européen Relatif au Transport International des Marchandises Dangereuses par Voies de Navigation Intérieures (= European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Inland Waterways)
AIPNC	World Association for Waterborne Transport Infrastructure (= Association pour les Infrastructures Maritimes et Fluviales, PIANC en français)
AIS	Automatic Identification System (= Système d'identification automatique)
AIS-SART	AIS–Search And Rescue Radar Transponder (= AIS de Recherche et de Sauvetage)
AIS-MOB	AIS-Man Over Board (= AIS-Homme à la mer)
AMRT	Accès Multiple à Répartition de temps (=Time-Division Multiple Access, TDMA, en anglais)
ANFR	Agence nationale des fréquences
ANSSI	Agence nationale de la sécurité des systèmes d'information
ARNSS	Aeronautical radio Navigation Service (= Service de Radio-navigation Aéronautique)
ARPA	Automatic Radar Plotting Aid (= aide de pointage radar automatique)
ASC	Agent de sûreté de la compagnie
ASIP	Agent de sûreté de l'installation portuaire
ASN	Appel sélectif numérique (= Digital Selective Calling, DSC)
ASN	Agent de sûreté du navire
ASP	Agent de sûreté du port
ATM	Asynchronous Transfer Mode (=mode de transfert asynchrone)
AtoN	Aid to Navigation (= Aide à la Navigation)
BCN	Bureau centralisateur national
CDMA	Code Division Multiple Access (= accès multiple par répartition en code)
CEM	Compatibilité électromagnétique
CEREMA	Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement
CIMER	Comité interministériel de la mer
COSPAS-SARSAT	Cosmicheskaya Sistyema Poiska Avaryinich Sudow (système spatial pour la recherche des navires en détresse) - Search And Rescue SAtellite-aided Tracking (system localisation par satellite pour les opérations de recherche et sauvetage)
CPCE	Code des postes et des communications électroniques
CROSS	Centre régional opérationnel de surveillance et de sauvetage
CNES	Centre national des études spatiales
CSN	Centre de sécurité des navires

DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunication (= Télécommunications numériques améliorées sans fil)
DGAC	Direction générale de l'aviation civile
DGE	Direction générale des entreprises
DGITM	Direction générale des infrastructures, des transports et des mobilités
DGAMPA	Direction générale des affaires maritimes, de la pêche et de l'aquaculture
DGNSS	Differential GNSS (= système global de navigation par satellite différentiel)
DGPS	Differential Global Positioning System (= GPS différentiel)
ECDIS	Electronic Chart Display and Information System (= Système de visualisation des cartes électroniques et d'information)
ECGFF	European Coast Guard Forum (= Forum européen des fonctions de garde-côtes)
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay Service
ENISA	European Union Agency for Cybersecurity (= Agence de l'Union européenne pour la Cybersécurité)
EPIRB	Emergency Position Indicating Radio Beacon (= Radiobalises de localisation)
EUSPA	EU Agency for the Space Programme (= Agence de l'Union européenne pour le programme spatial)
FDD	Frequency-Division Multiplex (= Duplex par Séparation Temporelle)
FDMA	Frequency Division Multiple Access (= accès multiple par répartition en fréquence) TDMA
FIRST-TF	Formation, Innovation, Recherche, Services et Transfert en Temps-Fréquence, est un réseau thématique visant à regrouper tous les acteurs du Temps-Fréquence à l'échelle nationale.
GNSS	Global Navigation Satellite System (= Système de Radionavigation par Satellite en français : GPS, Galileo, Glonass, Beidou, etc.)
IALA	International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities (= Association internationale de signalisation maritime : AISM)
IIoT	Industrial Internet of Things (= Internet Industriel des Objets)
ILS	Instrument Landing System (= système d'aide à l'atterrissage aux instruments)
IT	Information Technology (= technologies de l'information)
ITU	International Telecommunication Union (= Union internationale des télécommunications ou UIT)
LAN	Local Area Network (= réseau local)
LoRaWAN	Low Range Wide Area Network (= réseaux étendus à basse consommation)
LRIT	Long Range Identification and Tracking (= Système d'identification et de suivi à distance)
MAN	Metropolitan Area Network (= réseau métropolitain)
MASS	Maritime Autonomous Surface Ship (= Navire de surface autonome maritime)
MEFSIN	Ministère de l'Economie, des Finances et de la Souveraineté industrielle et numérique

MICA Center	Maritime Information Cooperation and Awareness Center (= centre français d'analyse et d'évaluation de la situation de sûreté maritime mondiale)
MINARM	Ministère des Armées
MTECT	Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires
MT	Ministère chargé des Transports
NAVCEN	U.S. Coast Guard Navigation Center
NTP	Network Time Protocol (= protocole de temps réseau)
OMI	Organisation maritime internationale (= International Maritime Organization, IMO, en anglais)
OSH	Organisme de Sûreté Habilité
OT	Operational Technology (= technologies opérationnelles)
PLB	Personnal Location Beacon (= Balise de Localisation Personnelle) ;
PNT	Position, Navigation, Temps
PNM	Administration des Ports et de la Navigation Maritime et Fluviale
PMR	Professional Mobile Radio
PTP	Precision Time Protocol (= protocole de précision temporelle)
RAIM	Receiver Autonomous Integrity Monitoring (= surveillance autonome de l'intégrité du récepteur)
RDMA	Remote Direct Memory Access (= accès direct à la mémoire à distance)
RMPR	Réseau Mobile Professionnel de Radiocommunication (= PMR, en anglais)
RNSS	Radio Navigation Satellite Service (= Service de Radionavigation par Satellite)
RPM	Règlement pour le transport et la manutention des marchandises dangereuses dans les Ports Maritimes
RRI	Réseau Radioélectrique Indépendant
RTC	Réseau téléphonie Commuté
RTK	Real Time Kinematic (= Cinématique Temps Réel)
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition (= système de contrôle et d'acquisition des données)
SDH	Synchronous Digital Hierarchy (= hiérarchie numérique synchrone)
SDMA	Spatial Division Multiple Access (= accès multiple par répartition spatiale)
SDP	Sous-direction de ports
SMDSM	Système Mondial de Détresse et de Sécurité en Mer (= Global Maritime Distress and Safety System, GMDSS, en anglais)
SOLAS	Safety Of Life At Sea (= Sauvegarde de la vie humaine en mer)
SONET	Synchronous Optical Network (= réseau optique synchrone)
TETRA	Terrestrial Trunked Radio (= Radio terrestre à Ressources Partagées)
TETRAPOL	Terrestrial Trunked Radio POLice
TDD	Time-Division Duplex (= Duplex par Séparation Temporelle)
TDMA	Time-Division Multiple Access (=Accès Multiple à Répartition de temps)

TSN	Time Sensitive Networking (= réseaux sensibles au temps)
UIT	Union internationale des télécommunications (= International Telecommunication Union ou ITU en anglais)
UTC	Coordinated Universal Time (= temps universel coordonné)
VDR	Voyage Data Recorder (= Enregistreurs de Données de Voyage ou « boîte noire »)
VoIP	Voice over IP (= Voix sur IP)
VMS	Vessel monitoring System (= Systèmes de surveillance des navires)
VOR	VHF omnidirectional range (= radiophare omnidirectionnel VHF)
WAAS	Wide Area Augmentation System
WAN	Wide Area Network (= réseau grande distance)
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access, ou multiplexage par code à large bande
WPAN	Wireless personal Area network (= réseau domestique sans fil)

Rappels

Le spectre radioélectrique

Il est défini par l'Union internationale des télécommunications (UIT) comme **l'ensemble des fréquences comprises entre 9 kHz et 3000 GHz**. Les ondes hertziennes sont des ondes électromagnétiques utilisant ces fréquences et se propageant dans l'espace.

Dans le spectre radioélectrique, des bandes de fréquences sont affectées à des services, soit au plan mondial (par exemple, dans l'aéronautique, pour les radiocommunications ou la radio navigation), soit au plan régional (Europe, Amérique du Nord ou du Sud, Asie, Afrique, Océanie), parfois spécifiquement au plan national.

Invisible et immatériel, le spectre des radiofréquences est une ressource rare et stratégique, essentielle aux missions régaliennes, à l'aménagement numérique des territoires et à tous les secteurs de l'économie.

La réglementation du spectre

Pour une exploitation harmonieuse du spectre des radiofréquences et permettre la cohabitation des différents services radioélectriques dans cet espace limité, des réglementations et des normes internationales et nationales ont été élaborées. Elles visent à assurer un accès équitable au spectre, son utilisation efficace et à maîtriser et résoudre les brouillages préjudiciables, au bénéfice de tous. Ainsi, une émission intentionnelle de signaux à fréquence radioélectrique ne peut se faire que dans un cadre réglementaire bien défini et qui dépend très fortement du service radioélectrique concerné.

L'U.I.T. assure la réglementation au plan international.

En France, l'ANFR planifie, gère et contrôle le spectre.

La réglementation relative aux équipements radioélectriques, électriques et électroniques

En Europe, la RED (Radio Equipment Directive ou directive des équipements radioélectriques, 2014/53/UE) et la directive CEM (directive compatibilité électromagnétique, 2014/30/UE) visent à assurer le fonctionnement du marché intérieur. Elles imposent, respectivement aux équipements radioélectriques et aux équipements électriques ou électroniques, le respect d'exigences essentielles.

L'exigence de ne pas brouiller des services de radiocommunication est inscrite dans ces deux directives pour :

- **les équipements radioélectriques**, la RED impose qu'ils soient construits « *de telle façon qu'ils garantissent (...) un niveau adéquat de compatibilité électromagnétique, conformément à la directive 2014/30/UE* » et « *de telle sorte qu'ils utilisent efficacement le spectre radioélectrique et contribuent à son utilisation optimisée afin d'éviter les brouillages préjudiciables* » ;
- **les équipements électriques et électroniques**, la directive CEM, impose qu'ils « *doivent être conçus et fabriqués, conformément à l'état de la technique, de façon à garantir (...) que les perturbations électromagnétiques produites ne dépassent pas le niveau au-delà duquel des équipements hertziens et de télécommunications ou d'autres équipements ne peuvent pas fonctionner comme prévu* ».

Ces directives sont transposées dans la loi française.

La répartition des bandes de fréquences en France

En France, le spectre radioélectrique fait partie du domaine public de l'État, inaliénable et incessible.

Il est partagé entre différents services, comme par exemple, le service de radiodiffusion qui comprend la radiodiffusion sonore et télévisuelle, le service mobile qui se décline en services mobiles aéronautique, terrestre, maritime, par satellite etc., le service fixe qui correspond à des liaisons de radiocommunications entre points fixes (exemple : faisceaux hertziens), le service de radiolocalisation, le service de radionavigation, le service de radioastronomie, le service de recherche spatiale, le service de radioamateur, etc.

Ces services radioélectriques sont liés à des « affectataires » du spectre radioélectrique qui ont en charge de gérer les affectations de bandes de fréquences sous leur responsabilité, comme :

- l'Administration des Ports et de la Navigation Maritime et Fluviale (« PNM ») ;
- l'Autorité de Régulation des Communications Électroniques et de la Poste (ARCEP) qui a, entre autres, la responsabilité des principales bandes de fréquences dédiées aux services commerciaux « communications électroniques » des opérateurs de réseaux de téléphonie mobile, Wifi, PMR, etc.) ;
- le Ministère des Armées pour toutes les bandes de fréquences utilisées par les Armées (« DEF ») ;

- le Ministère de l'Intérieur pour les bandes de fréquences des réseaux de la police et des réseaux des pompiers (« INT ») ;
- l'Aviation civile (« AC ») – DGAC ;
- l'Espace (« ESP ») – CNES ;
- la Météorologie nationale (« MTO ») - Météo France ;
- le Ministère de la Recherche (« RST ») ;
- l'Autorité publique française de régulation de la communication audiovisuelle et numérique (ARCOM) qui gère les bandes de fréquences pour l'audiovisuel (Radiodiffusion et télévision).

Le TNRBF, texte réglementaire de référence (arrêté du Premier ministre) précise les bandes de fréquences et services auxquels les administrations de l'Etat et autorités administratives indépendantes et les affectataires ont accès en vue de l'accomplissement de leurs missions.



**Figure n°38 : image de la frise des fréquences issue du TNRBF,
accessible sur le site de l'ANFR**

Source : <https://www.anfr.fr/planifier/le-tnrbf/le-tnrbf>

Principales bandes de fréquences radio utilisées dans le secteur du transport maritime et fluvial et les opérations portuaires

Les secteurs du transport maritime et fluvial et des opérations portuaires sont particulièrement concernés par la prévention et le traitement des brouillages affectant des fréquences attribuées à l'affectataire PNM mais également de fréquences sous autorisation générales ou attribuées à d'autres affectataires telles que les fréquences du GNSS ou celles des opérateurs mobiles.

On peut distinguer plusieurs catégories de fréquences radioélectriques utilisées par des applications et équipements des domaines maritime et portuaire ou fluvial. Parmi celles-ci :

- **celles dédiées aux domaines maritime, portuaire et fluvial et attribuées à l'affectataire PNM** (Administrations des Ports et de la Navigation Maritime et Fluviale) (VHF marine, AIS, etc.) ;
- **celles gérées par d'autres affectataires étatiques et attribuées via des licences individuelles ou générales**, pour :
 - des services satellitaires tels que le GNSS (GPS, Galileo, Glonass, Beidou), Immarsat, Iridium, etc. ;
 - des services de communication (téléphonie et Internet mobile : 2G, 3G, 4G, 5G et 6G (à venir) ; réseaux mobiles professionnels (PMR, TETRA) ; WIFI, etc.) ;
 - des objets et capteurs connectés (bandes à autorisation générale, 5G, RFID, WIFI, etc.) ;
 - des radars de prévision météorologique ;
 - etc.

Le brouillage de ces fréquences peut affecter des opérations maritimes, fluviales ou portuaires et potentiellement conduire à des situations critiques d'un point de vue sécuritaire, environnemental ou économique.

Par exemple, les brouillages des fréquences VHF ou AIS peuvent entraîner des interruptions de communications vocales et d'échanges de données (VHF, AIS) entre centres de trafic maritime et navires ; une perturbation des communications des services d'exploitation portuaire ou des services de mouvement des navires peut conduire à des situations dangereuses.

Bibliographie

1. Etude d'impact de perte de signaux GNSS, FDC, janvier 2022. <https://first-tf.fr/le-reseau/organisation/groupe-de-travail/etude-dimpact-de-perte-de-signaux-gnss/>
2. Dossier de presse du Comité Interministériel de la Mer (CIMER) de décembre 2019 <https://www.ecologie.gouv.fr/comite-interministeriel-mer>
3. Rapport interministériel « Les brouilleurs de GNSS. Eléments pour une politique publique afin de limiter l'usage illégal des brouilleurs », octobre 2018. Bernard FLURY-HERARD, CGEED ; Jacques LE GUILLOU, CGEED ; Michel LARTAIL, CGET ; Ilarion PAVEL, CGET ; Frédéric PERRIN, IGA ; Jean-Patrick RIDAO, IGA.
4. Fiche pédagogique de l'ANFR sur les brouilleurs GPS : https://www.anfr.fr/fileadmin/mediatheque/documents/brouillage/2018_Final_Fiche_brouilleur_GPS.pdf
5. Fiche pédagogique de l'ANFR sur les brouilleurs GPS / en anglais : <https://www.anfr.fr/fileadmin/mediatheque/documents/brouillage/20200724-GPS-jammer-EN.pdf>
6. Affiche pédagogique de l'ANFR sur les risques des brouilleurs GPS : <https://www.anfr.fr/fileadmin/mediatheque/documents/brouillage/Affiche-Brouilleur-GPS-print.pdf>
7. Affiche pédagogique de l'ANFR sur les risques des brouilleurs GPS / en anglais : <https://www.anfr.fr/fileadmin/mediatheque/documents/brouillage/20200720-Poster-GNSS-Jammer.pdf>
8. Market Report de l'EUSPA, [market_report_issue_6_v2.pdf](https://www.euspa.europa.eu/system/files/reports/market_report_issue_6_v2.pdf) de 2019, https://www.euspa.europa.eu/system/files/reports/market_report_issue_6_v2.pdf
9. GPS jamming and the Impact on Maritime Navigation, Journal of navigation, April 2009, Alan Grant, Paul Williams, Nick Ward and Sally Basker, The General Lighthouse Authorities of the United Kingdom and Ireland.
10. Jamming and Spoofing of Global Navigation Satellite Systems (GNSS), INTERTANKO 2019
11. National PNT Advisory Board comments on Jamming the Global Positioning System - A National Security Threat: Recent Events and Potential Cures, November 4, 2010, White paper
12. Telematics, 2010, <http://www.defence.pk/forums/military-forum/76068-north-korea-appearscapable-jamming-gps-receivers.html>
13. GPS Jamming and the Impact on Maritime Navigation, Alan Grant, Paul Williams, Nick Ward and Sally Basker (The General Lighthouse Authorities of the United Kingdom and Ireland)
14. L. Eldredge, 2010, "Alternative Position, Navigation and Time," briefing to the FACA on Space Based Position, Navigation and Time, October 2010
15. D. Last, 2010, "Effect of Jammers on GPS in a Maritime Environment," briefing to the FACA on Space Based Position, Navigation and Time, October 2010
16. <https://www.expressandstar.com/news/2010/05/06/6m-lorry-hijackings-gang-face-ten-years/>
17. <http://www.locata.com/wp-content/uploads/2013/08/The-Potential-Effects-of-GPS-Jamming-on-Marine-Navigation-UK-Lighthouse-Authority-Presentation.pdf>

18. How illegal drone jammers are sold to Europe, By Ben Heubl, Published Friday, March 19, 2021, <https://eandt.theiet.org/content/articles/2021/03/how-drone-jammers-are-sold-to-europe-and-the-uk/>
19. Timing and Synchronization Are Key to 5G, Kashif Hussain, Wireless Solutions Director, VIAVI Solutions, 30 September 2021
20. Série Enjeux numériques des Annales des Mines es - N° 9 - Mars 2020 - Les fréquences, gestion d'une ressource-clé, Police du spectre, brouillage offensif, brouillage non intentionnel. Sécurisation du spectre, cyber-sécurité et guerre électronique : même combat ? Catherine GABAY
21. GNSS Interference Cases Handling and the Fight Against the Spread of Illegal GNSS Jammers by ANFR, the French Spectrum Management and Monitoring Authority, Catherine Gabay, Deputy Director Spectrum Monitoring, ANFR, Publisher: IEEE; Published in: 2019 RFI Workshop - Coexisting with Radio Frequency Interference (RFI), Date of Conference: 23-26 Sept. 2019, Toulouse, France
22. Ports cybersécurisés – Guide de bonnes pratiques pour la cybersécurité dans le secteur portuaire, DGITM, Janvier 2022.
23. Foundational PNT Profile: Applying the Cybersecurity Framework for the Responsible Use of Positioning, Navigation and Timing (PNT) Services, NISTIR 8323, National Institute of Standards and Technology, US department of Commerce, February 2021
24. Site internet www.navcen.uscg.gov : US Coast Guard Navigation Center, NAVCEN (Navigation Center – US Coast Guard
25. « La chasse aux drones, le sport de l'été, Elisa Braun, le Figaro, Medias and Tech, samedi 1^{er} – dimanche 2 septembre 2018
26. « GPS embrouille sur les ondes. Armées, transports, transactions financières : les sociétés comme les Etats sont de plus en plus dépendants des satellites de navigation. Une vulnérabilité nouvelle et inquiétante », Romain Rosso, l'Express, 3 juillet 2019,
27. GNSS Inside : <https://insidegnss.com/imo-and-the-gnss>, IMO and the GNSS, By Ingo Baumann, September 19, 2017
28. Fortune, 1^{er} février 2020: « When GPS gets lost - The maritime shipping industry wouldn't be the behemoth it is today without satellite navigation. That's why a rising tide of mysterious GPS outages is a disaster waiting to happen », Katherine Dunn
29. Etude du London Economics, « The economic impact on the UK of a disruption to GNSS », June 2017, https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/619544/17.3254_Economic_impact_to_UK_of_a_disruption_to_GNSS_-_Full_Report.pdf
30. Document MSC 102/22/5 (United States): identifies the urgent issue of deliberate interference with GPS and GNSS signals throughout the world.
31. Document MSC 103/20/6 (United States): identifies the urgent issue of deliberate interference with GPS and GNSS signals throughout the world and revises and supersedes document MSC 102/22/5
32. « Navigatie van schepen op Westerschelde verstoord door 'dronekiller' van luxe jacht », 31 maart 2021, 31 mars 2021, <https://www.omroepzeeland.nl/nieuws/13540046/navigatie-van-schepen-op-westerschelde-verstoord-door-dronekiller-van-luxe-jacht>
33. Drone watch.nl, 'Drone killer' verstoort GPS op Westerschelde », <https://www.wadgidsenweb.nl/wadgidsenweb/exjoomla/drone-killer.pdf>

34. Dronewatch du 29 mars 2021 : « Verstoring scheepvaartverkeer Westerschelde mogelijk veroorzaakt door 'dronekiller », <https://www.dronewatch.nl/2021/03/29/verstoring-scheepvaartverkeer-westerschelde-mogelijk-veroorzaakt-door-dronekiller/>
35. « Was GPS Interference to Blame for a Mysterious Maritime Collision in 2014? », By:Guy Buesnel, June 22, 2017, <https://www.spirent.com/blogs/gps-interference-mysterious-maritime-collision>
36. ONDES RADIO, 4G, 5G: LA LUTTE CONTRE LES BROUILLEURS, NOUVEAU DÉFI DES AUTORITÉS, Elsa Trujillo, BFMTV.COM/TECH, 02/05/2021, https://www.bfmtv.com/tech/ondes-radio-4g-5g-la-lutte-contre-les-brouilleurs-nouveau-combat-des-autorites_AN-202105020006.html
37. Résolution de l'Assemblée de l'OMI n°22-915 du 29 novembre 2011 « politique et prescriptions maritimes révisées concernant un futur système global de navigation par satellite (GNSS) ».
38. Extrait du Market Report de l'EUSPA, market_report_issue_6_v2.pdf de 2019 : https://www.euspa.europa.eu/system/files/reports/market_report_issue_6_v2.pdf
39. IALA recommendation R0129 – GNSS Vulnerability and Mitigation Measures
40. DEVELOPMENTS IN RADIO NAVIGATION SYSTEMS, Michael Hoppe, Rainer Strenge, PIANC-World Congress Panama City, Panama, 2018
41. Brouillages d'ondes. L'ANFR mène l'enquête ! <https://www.anfr.fr/controler/traitement-des-brouillages/les-enquetes-de-lanfr/livret>
42. A la recherche de la connexion perdue (republiq-it.fr) Article de Bertrand Lemaire, rédacteur en chef de Republik IT, le 16 octobre 2022 <https://www.republiq-it.fr/solutions-techno/cybersecurite/a-la-recherche-de-la-connexion-perdue.html>
43. L'ANFR publie ses histoires pas drôles, AVICCA, septembre 2022, <https://www.avicca.org/actualite/brouillages-lanfr-publie-ses-histoires-pas-droles>
44. Florilège des brouillages d'ondes plus ou moins volontaires. Qu'est-ce que j'peux ANFR... Jean-Marc Manach, Next Inpact, 3 août 2022 <https://www.nextinpact.com/article/69752/florilege-brouillages-dondes-plus-ou-moins-volontaire>
45. Quand des réseaux Wi-Fi, des voitures connectées et des casernes brouillent les ondes... J'ai rien ANFR, Jean-Marc Manach, Next Inpact, 5 août 2022, <https://www.nextinpact.com/article/69753/quand-reseaux-wi-fi-voitures-connectees-et-casernes-brouillent-ondes>
46. Quand une box, un casque sans fil ou un câble HDMI brouille les fréquences ... dans une zone de 10 kilomètres alentour, Jean-Marc Manach, Next Inpact, 8 août 2022, <https://www.nextinpact.com/article/69754/quand-box-casque-sans-fil-ou-cable-hdmi-brouille-frequences>
47. [https://www.lightreading.com/partner-perspectives-\(sponsored-content\)/timing-and-synchronization-are-key-to-5g/a/d-id/772465](https://www.lightreading.com/partner-perspectives-(sponsored-content)/timing-and-synchronization-are-key-to-5g/a/d-id/772465)
48. « Radio frequency interference. ANFR investigates ! », ANFR, 2023 : <https://www.anfr.fr/controler/traitement-des-brouillages/les-enquetes-de-lanfr/radio-frequency-interference-anfr-investigates>
49. ANFR Fighting the Good Fight Against Jammers, Peter Gutierrez, Inside GNSS, 17 juillet 2023, <https://insidengss.com/anfr-fighting-the-good-fight-against-jammers/>

Liens utiles

Site de l'ANFR :

www.anfr.fr

Site du ministère chargé des transports :

www.ecologie.gouv.fr/surete-portuaire

Signalement d'un brouillage relatif à un récepteur GNSS :

<https://www.anfr.fr/controler/traitement-des-brouillages/le-traitement-dun-brouillage-comment-ca-marche-de-la-demande-dintervention-a-la-resolution>

Sensibilisation aux risques posés par les brouilleurs du GNSS :

<https://www.anfr.fr/controler/sources-possibles/brouilleur-gnss-gps-galileo>

Tableau national de répartition des fréquences :

<https://www.anfr.fr/planifier/le-tnrbf/le-tnrbf>

Remerciements

Ce guide a été rédigé par :

Catherine GABAY, Directrice Adjointe du Contrôle du Spectre (ANFR/DCS)

Jean-Louis SCHMITZ, Référent maritime de la Direction du Contrôle du Spectre (ANFR/DCS)

Cédric LOESCHER, Chef du bureau de la sûreté portuaire et fluviale (DGITM/DTFPP/SDP(4))

Erwan DELAN, Auditeur national de sûreté portuaire, Référent cybersécurité (DGITM/DTFPP/SDP(4))

Avec les conseils et relectures de :

Laurent BANITZ, Chef de la mission cybersécurité et sûreté des navires (DGAMPA/SFM/STEN/MSN)

Alex GENICOT, Directeur du JRCC de Tahiti, précédemment Chargé de mission « Affaires techniques » en charge des programmes techniques des CROSS (DGAMPA)

Guillaume GORGES, Adjointe à la Cheffe du bureau du transport fluvial (DGITM/DTFPP/DTF(2))

Xavier HERNOE, Chargé d'études nautiques (DGAMPA/SEML/SDSNC/SNC(2))

Vincent LASSOURD, Chef du bureau sauvetage et surveillance du trafic maritime et portuaire (DGAMPA/SEML/SDSNC/SNC(1))

Pierre-Yves MARTIN, Chef de groupe aide à la navigation (CEREMA/DTecREM/DPN/AN)

Caroline NEUMAN, Adjointe au sous-directeur de la Sécurité et de la transition écologique des navires (DGAMPA/SFM/STEN)

Antoine RIGOLE, Chargé de mission en charge de la stratégie en matière de radiocommunications et de la gestion des fréquences des ports et de la navigation maritime et fluviale (DGAMPA/SEML/SDSNC)

Sébastien VERDEAU, Directeur adjoint des affaires maritimes de Nouvelle-Calédonie, précédemment Chef de bureau STEN 2 (DGAMPA/SFM/SDSTEN(2))

Se préparer	Réagir efficacement
<ul style="list-style-type: none"> • Prendre conscience de la menace des brouillages du GNSS • Réaliser une analyse de risques et des impacts potentiels • Accroître sa robustesse • Développer des capacités de détection • Préparer un plan de continuité d'activité et un plan de reprise d'activité • Construire un plan de communication de crise • Mettre en place un processus pour alerter l'ANFR • Sensibiliser et former le personnel 	<ul style="list-style-type: none"> • Détecter le brouillage du GNSS • Mettre en œuvre le plan de continuité d'activité • Activer le processus de communication de crise et informer les autorités • Alerter l'ANFR • Mettre en œuvre le plan de reprise d'activité • Réaliser un retour d'expérience (retex)



MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET DE LA COHÉSION
DES TERRITOIRES

*Liberté
Égalité
Fraternité*



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE
*Liberté
Égalité
Fraternité*



L'essentiel pour se protéger contre la menace d'un brouillage du GNSS



Février 2024