

Yasmine CHAIBEN¹
Syed Ali KAZIM²
Juliette MARAIS¹

¹ Univ Gustave Eiffel, France
² IRT Railenium, France

Advancing towards a comprehensive GNSS interference management framework: A deep learning approach for classification of FM chirp jammers

La nouvelle guerre du GPS et ses risques

La manipulation des services de navigation par satellite est désormais utilisée à grande échelle. La Russie, notamment, qui en a fait une priorité, met en danger la navigation civile par des actions de brouillage.

Par Nathalie Guibert - Publié le 02 mai 2019 à 10h31

Analyse. Naviguer le long des côtes de la Syrie, au large des bases russes de Lattaquié, Khmeimim et Tartous installées dans ce pays, peut revenir à avancer les yeux bandés. « *La zone est complètement brouillée* », confiait récemment un officier français. Dans les zones de tension sévit la guerre du GPS (Global Positioning System), ce précieux système par satellite auquel se sont habituées les armées occidentales pour ses fonctions de positionnement, de navigation et d'horlogerie.

Le brouillage GPS des avions civils, dommage collatéral des guerres en Ukraine et à Gaza

Pour lire l'intégralité de cet article, [abonnez-vous à L'Usine nouvelle - édition Abonné](#)

Les acteurs du transport aérien s'inquiètent de la forte hausse des phénomènes de brouillage GPS subis par les avions commerciaux à proximité des zones de conflit. Si aucun accident n'a été pour l'heure constaté, constructeurs et équipementiers s'attèlent à rendre les équipements de navigation plus robustes.

Réservé aux abonnés

Olivier James

23 mai 2024 | 05h00



NEWS



Russia intensifies electronic warfare against Norway

"We were spoofed on approaching Kirkenes today"

Norway is sounding the alarm after discovering that Russia is no longer only jamming the Global Navigation Satellite Systems (GNSS) across the border, but also spoofing GPS signals, an attack that can cause significant disruption to commercial aviation.

 Thomas Nilsen

17 January 2025 - 22:15



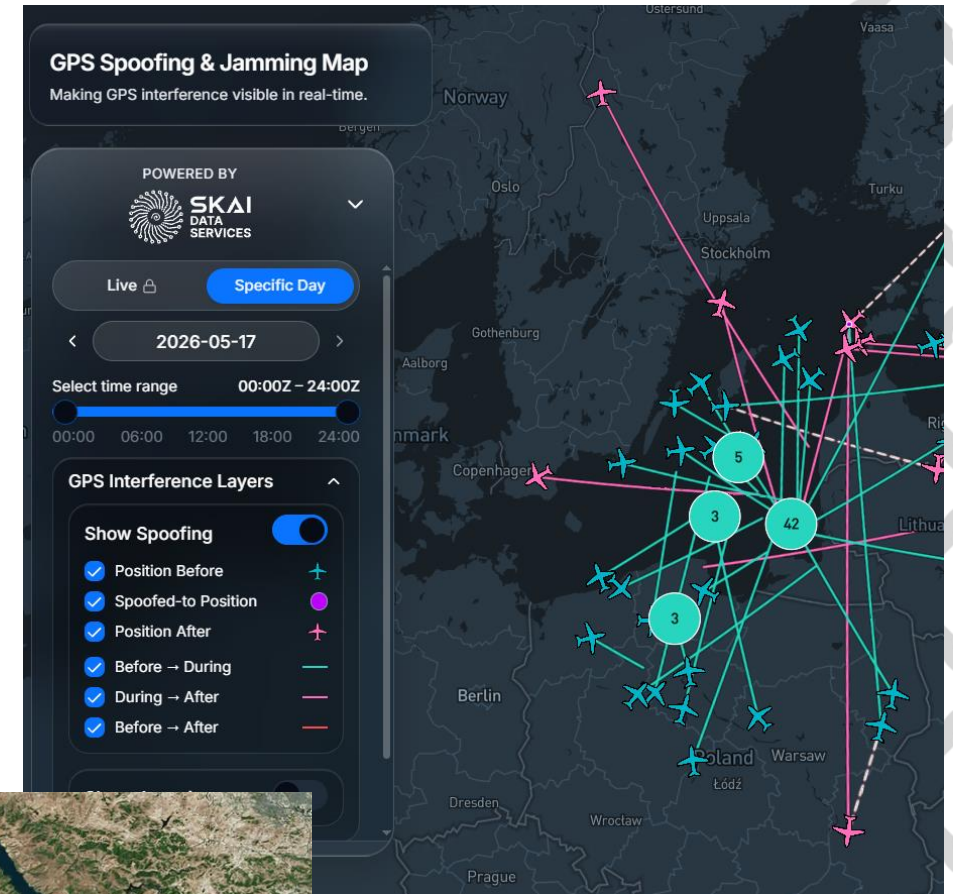
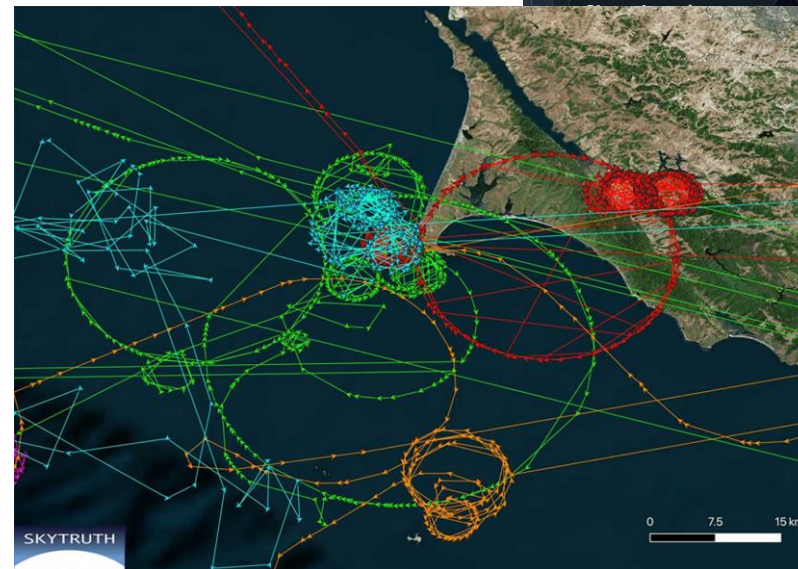
Sensibilisation au brouillage et au spoofing

- Les interférences peuvent affecter les signaux GNSS, entraînant une **distorsion**, voire une **interruption totale** des services, selon leur intensité et leur nature.

Que fait le Jamming?

Le Jamming rend le récepteur aveugle

Que fait le spoofing?



Sensibilisation au brouillage et au spoofing

- Les interférences peuvent affecter les signaux GNSS, entraînant une **distorsion**, voire une **interruption totale** des services, selon leur intensité et leur nature.

Que fait le Jamming?

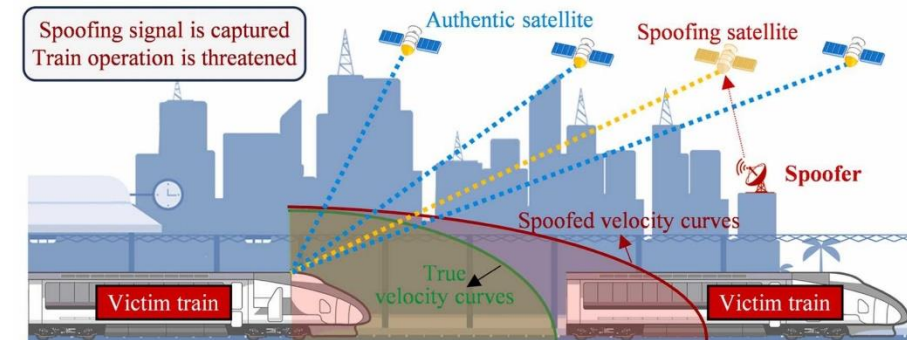
Le Jamming rend le récepteur aveugle.



Dans un système ASTP multicapteur = pas de GNSS



1. Scénario de leurrage Longitudinal
2. Sélection de la mauvaise voie



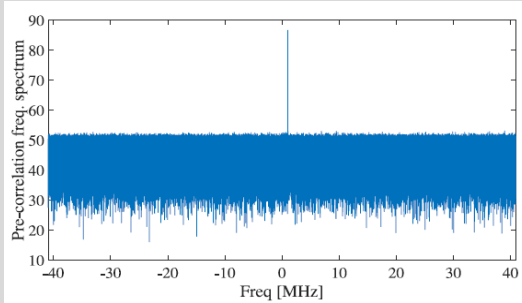
Real trajectory

Spoofed trajectory

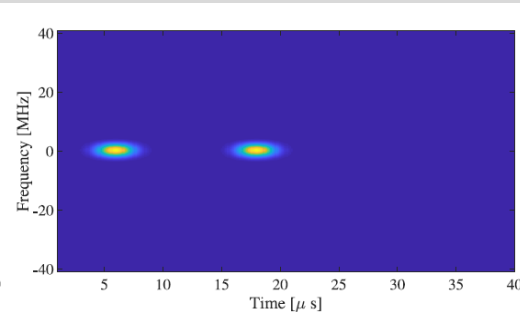
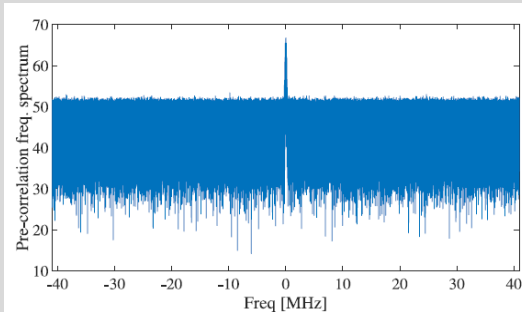
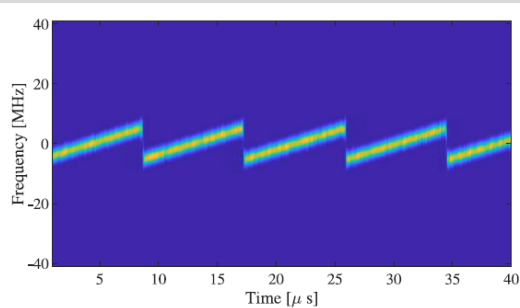
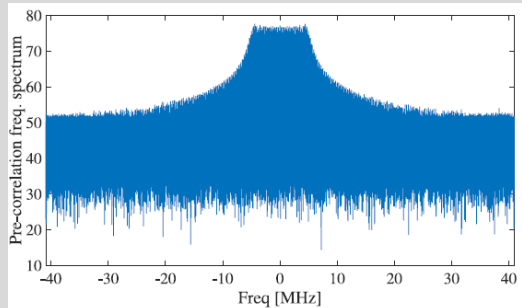
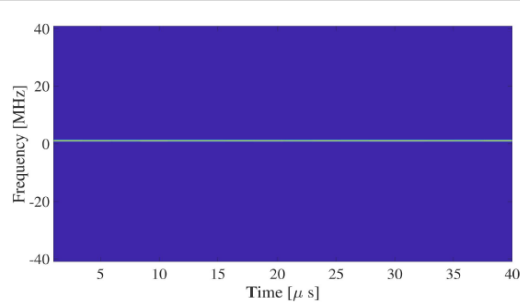
Spectral characteristics of some common interference signal

Multiple interference types, each with unique **signal shapes** and **impact levels** on GNSS performance.

Frequency spectrum



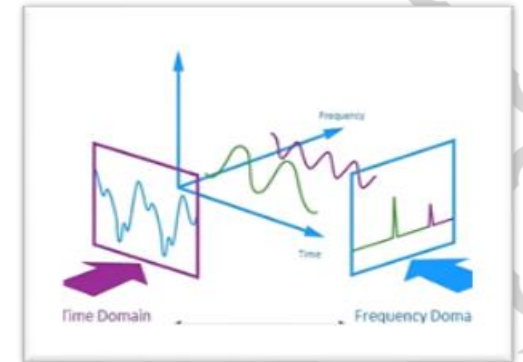
Spectrogram



Unintentional interference
Other systems (signal harmonics)

Intentional interference
Jammer (chirp signal)

Unintentional interference
DME system (pulsed signal)



Travaux passés (Thèse d'Ali Kazim, UGE 2024)

- L'état de l'art des techniques COTS de réduction des interférences offre d'excellentes performances en termes de précision, mais compromettent l'intégrité [Kazim ITM 2022]
- **Objectif :**
améliorer les performances de l'atténuation des interférences en termes d'intégrité. Mise en œuvre de solutions d'atténuation existantes issues de différentes familles dans un récepteur logiciel GNSS (Adaptive Notch Filter(ANF), décomposition en paquets d'ondelettes (WPD) et transformée de Karhunen-Loeve (KLT)), en ciblant spécifiquement les interférences de type chirp et à saut de fréquence [Kazim ION GNSS+ 2022]
- Dans le cas du scénario de chirp, le processus d'atténuation a permis d'éliminer avec succès les cas dangereux, mais a également entraîné une augmentation notable du nombre de points indisponibles sur le diagramme de Stanford
→ paramétrage optimal de l'ANF, en l'adaptant spécifiquement au signal chirp [Kazim ION GNSS+ 2023]

Exemple de mitigation ANF avec paramétrage par défaut et paramétrage adapté (« appris »)

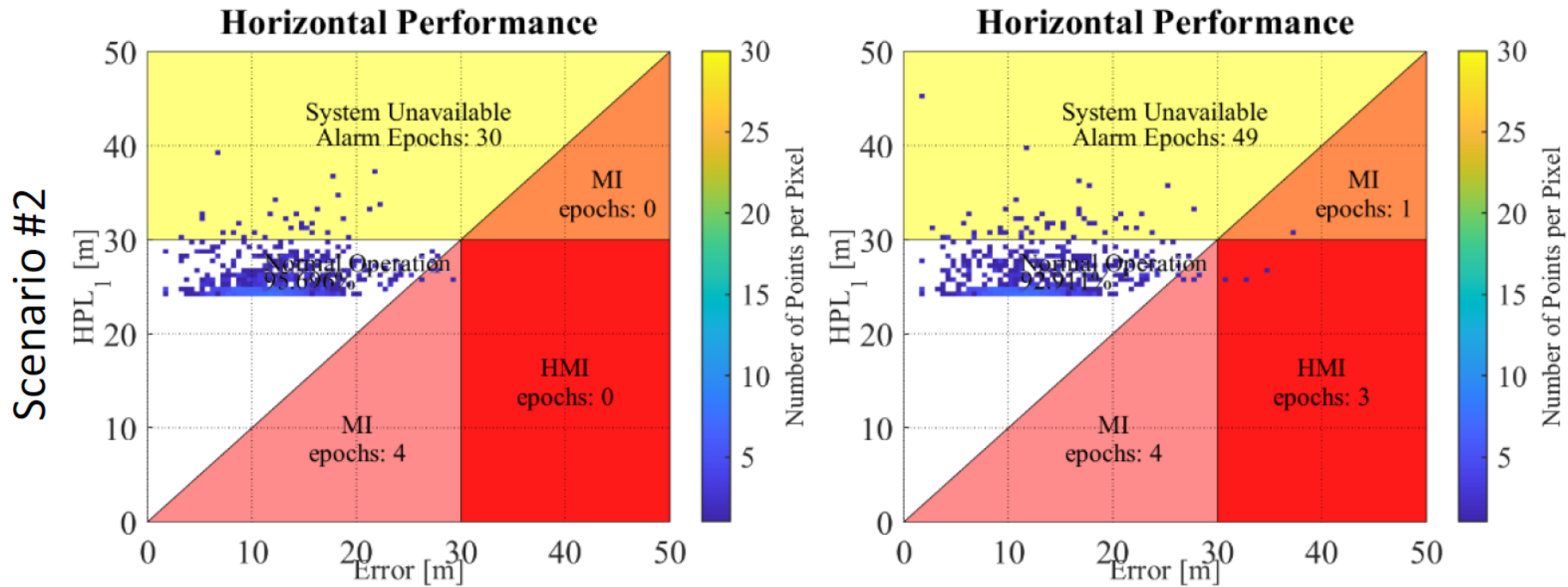
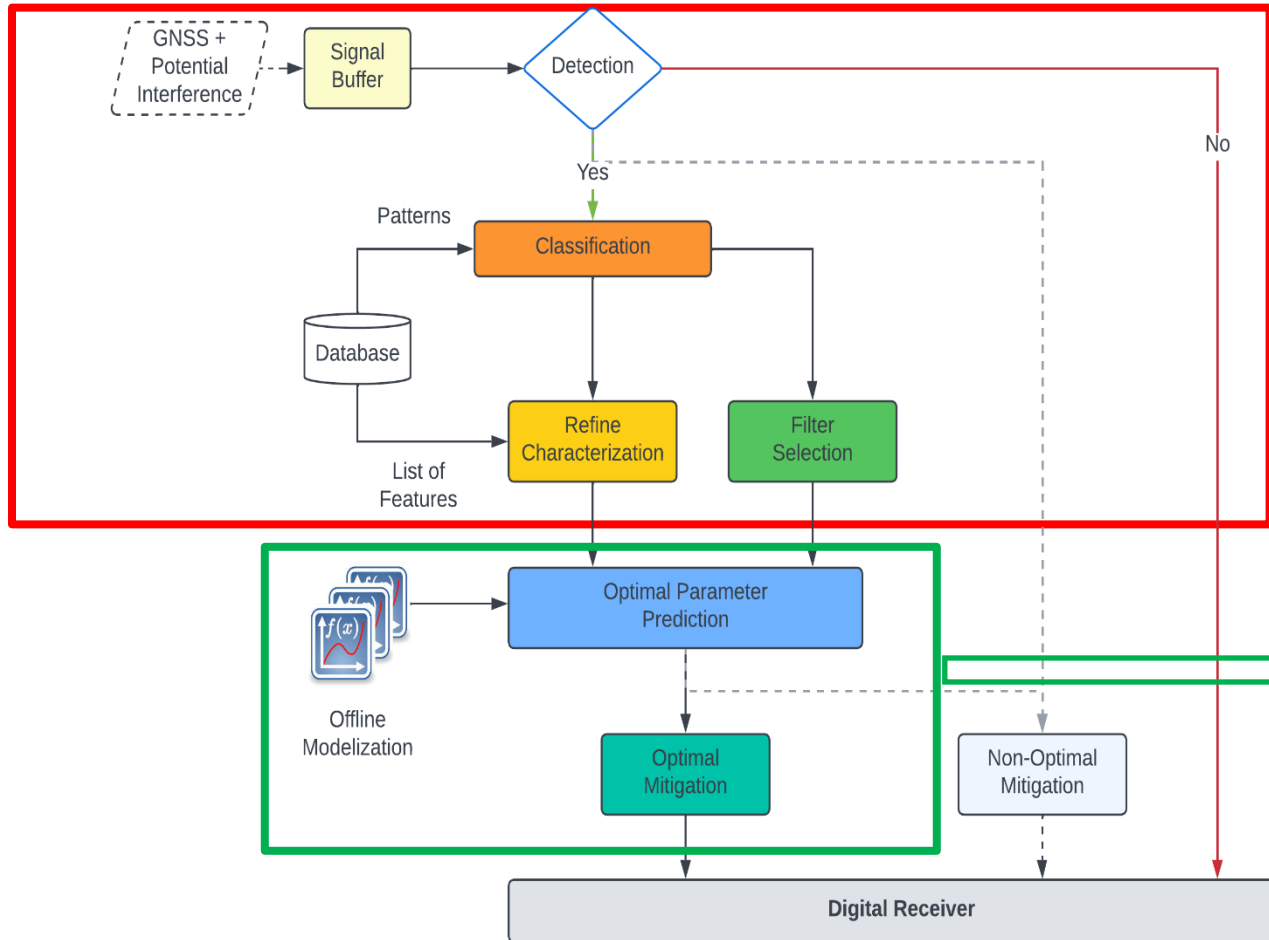


Figure 17. Stanford Diagram Representing Performance after applying mitigation in scenario 2 with moderate chirp (bandwidth = 5MHz, repetition rate = 50us and JSR = 9dB) using ANF a) Set A ($\delta = 0.06$ and $k_{\alpha} = 0.55$) and b) Set B ($\delta = 0.05$ and $k_{\alpha} = 0.8$)

GNSS Interference Management Framework



Objectif

Détection & Classification:
déterminer le type de signal interférent
afin de choisir le filtre adapté

Previous Work [Kazim, 2023]:

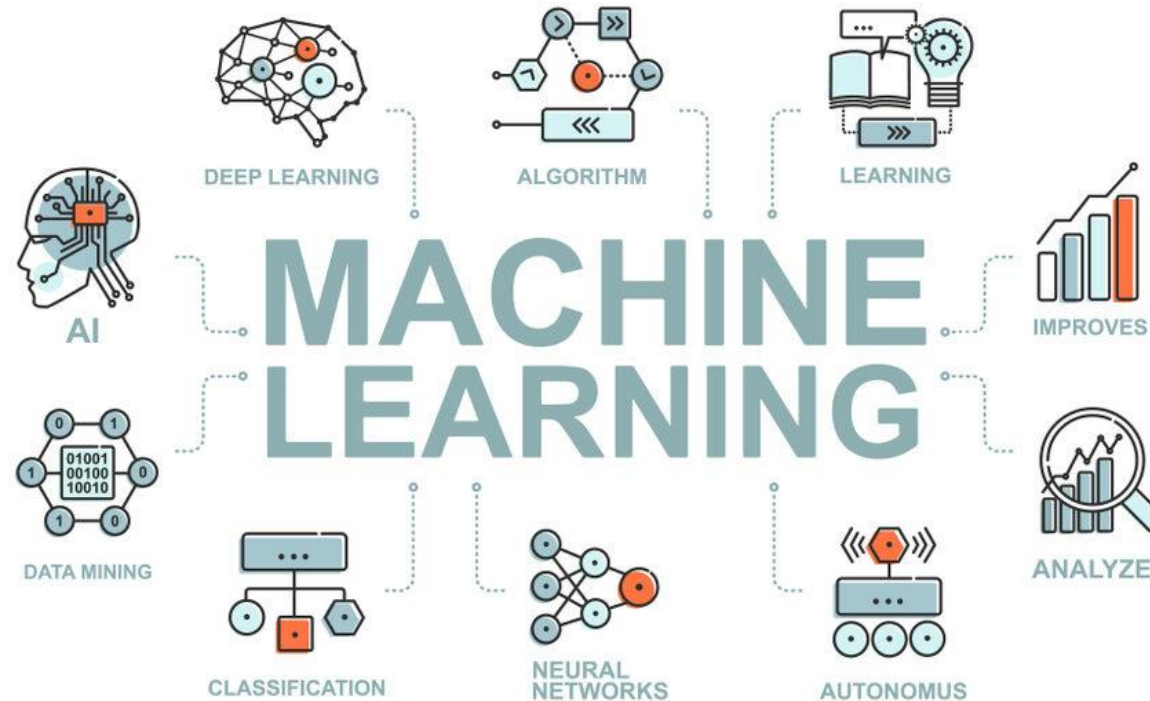
- Focused on particular form of interference signals and investigated countermeasure solutions to suppress their effects.
- This research study revealed the importance of filter selection and their parametrization.



Problem: Interference parameters are unknown in real-time applications



In the literature, we found that to effectively detect, classify, and characterize GNSS interferences, a flexible and adaptive approach is needed



Machine learning approaches for GNSS interferences detection and classification

Approach	Algorithm type	Types of Interference	Input	Purpose
LSTM	Supervised	Group A: Multipath, Spoofing, Jamming (CWI,MCWI, and Pulse)	Power Spectrum	Detection
kNN	Unsupervised	Group B: Chirp Signals: Linear Wide (Slow, Medium, Fast, Rapid, and Narrow), Multi-Tone Narrow, Sawtooth, Hooked Sawtooth, Tick, Triangular, and Triangular Wave	Features from GNSS Signals (Time & Frequency Domain)	Detection + Classification
CNN	Supervised		Spectrograms (Time-Frequency)	Detection + Classification
CNN vs. SVM	Supervised	Group C: AM, Chirp, FM, Pulse, Narrowband Jammers+ No Jammer	Spectrograms	Classification
ResNet and AlexNet	Supervised	Group B + Group C	Spectrograms + Statistical Features	Detection + Classification



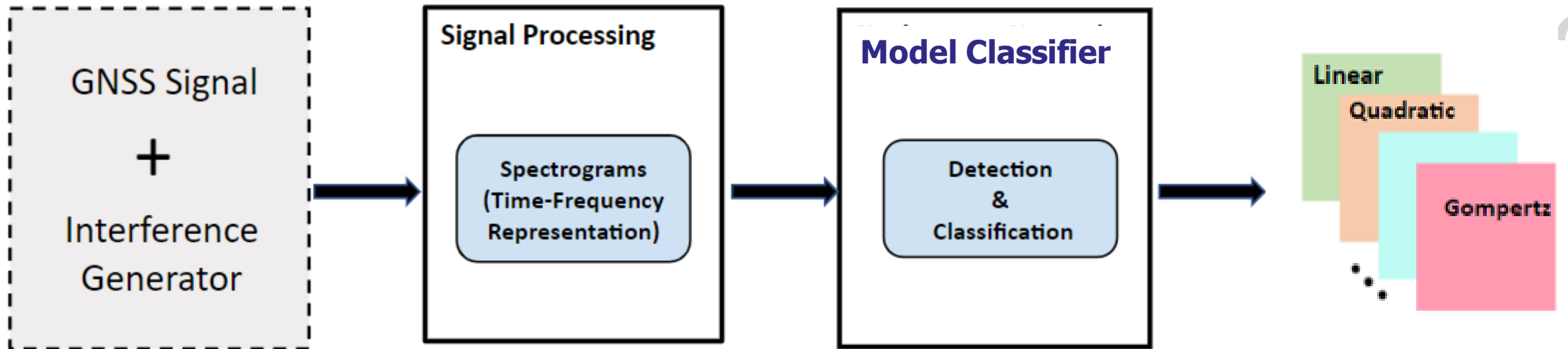
Literature provides valuable insights into GNSS interference detection and classification, but there still remain some limitations:



Very distinctive scenarios/classes were used as an input making it relatively easier for Neural Network to do the classification task.

Proposed Methodology

Global scheme

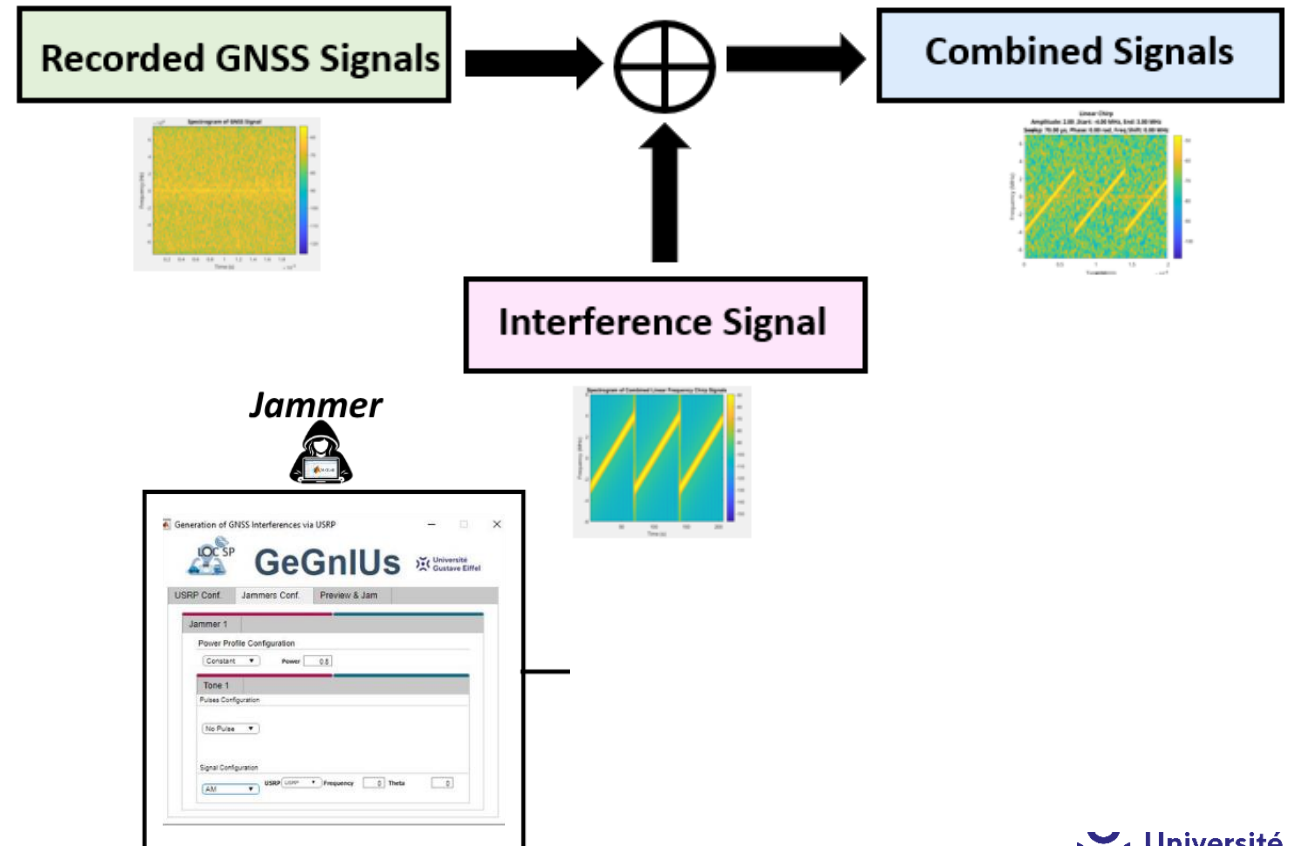


Proposed Methodology

1. Database Construction Process for GNSS Signals



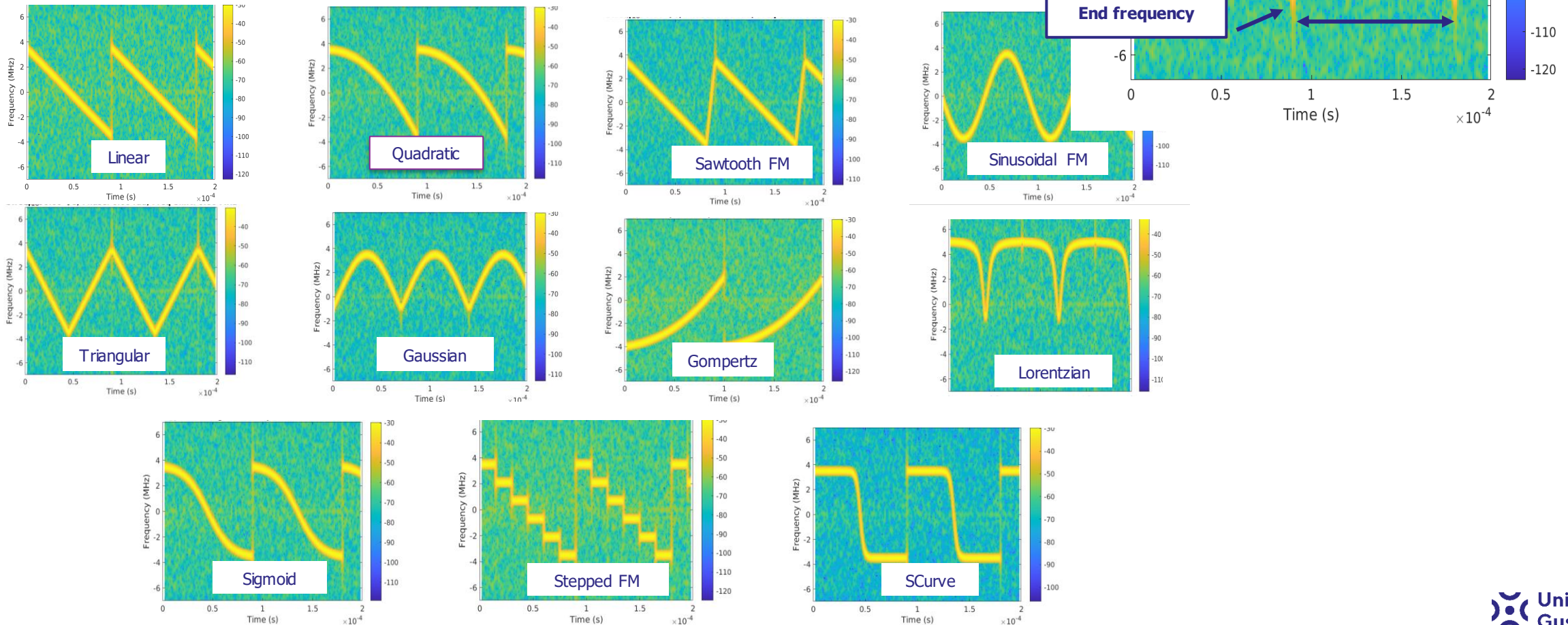
GNSS Signal Recording System and MATLAB-based Jammer connected to an antenna mounted on the roof of the building.



Database Construction Process for GNSS Signals

- Chirp signal: A signal which continuously varies its frequency over time.

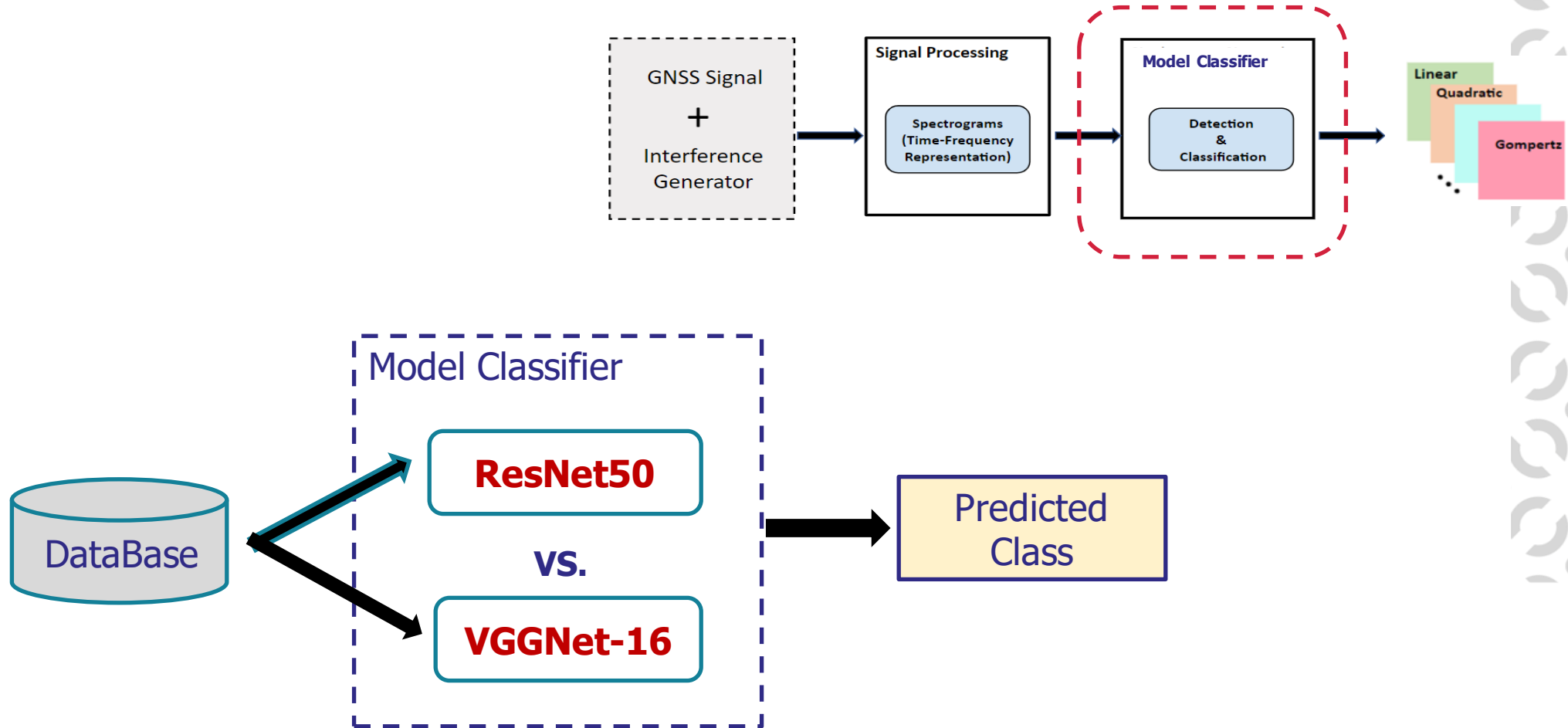
148,500 scenarios





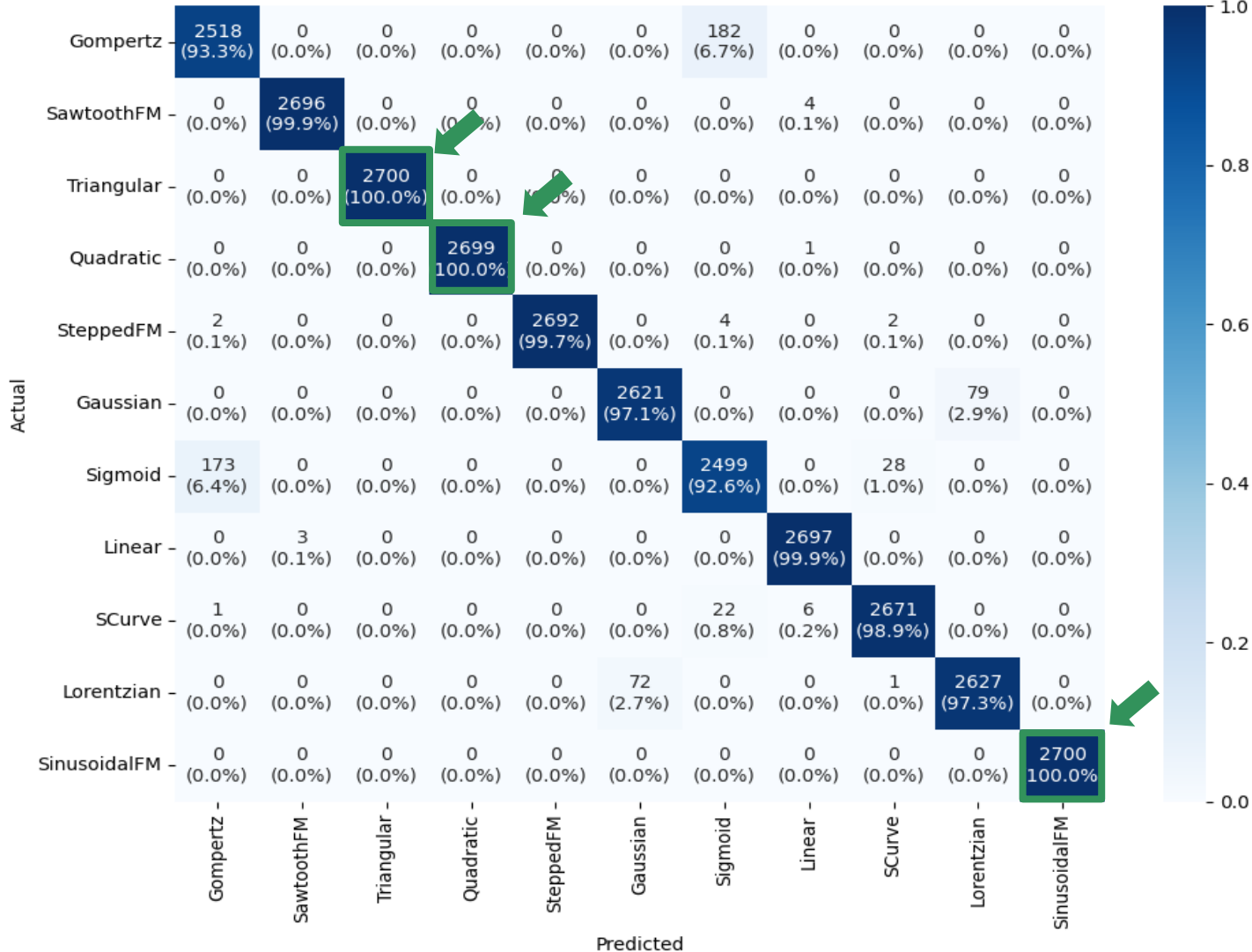
Proposed Methodology

2. Implementation of NN for Detection and Classification



VGGNet Results

Confusion Matrix

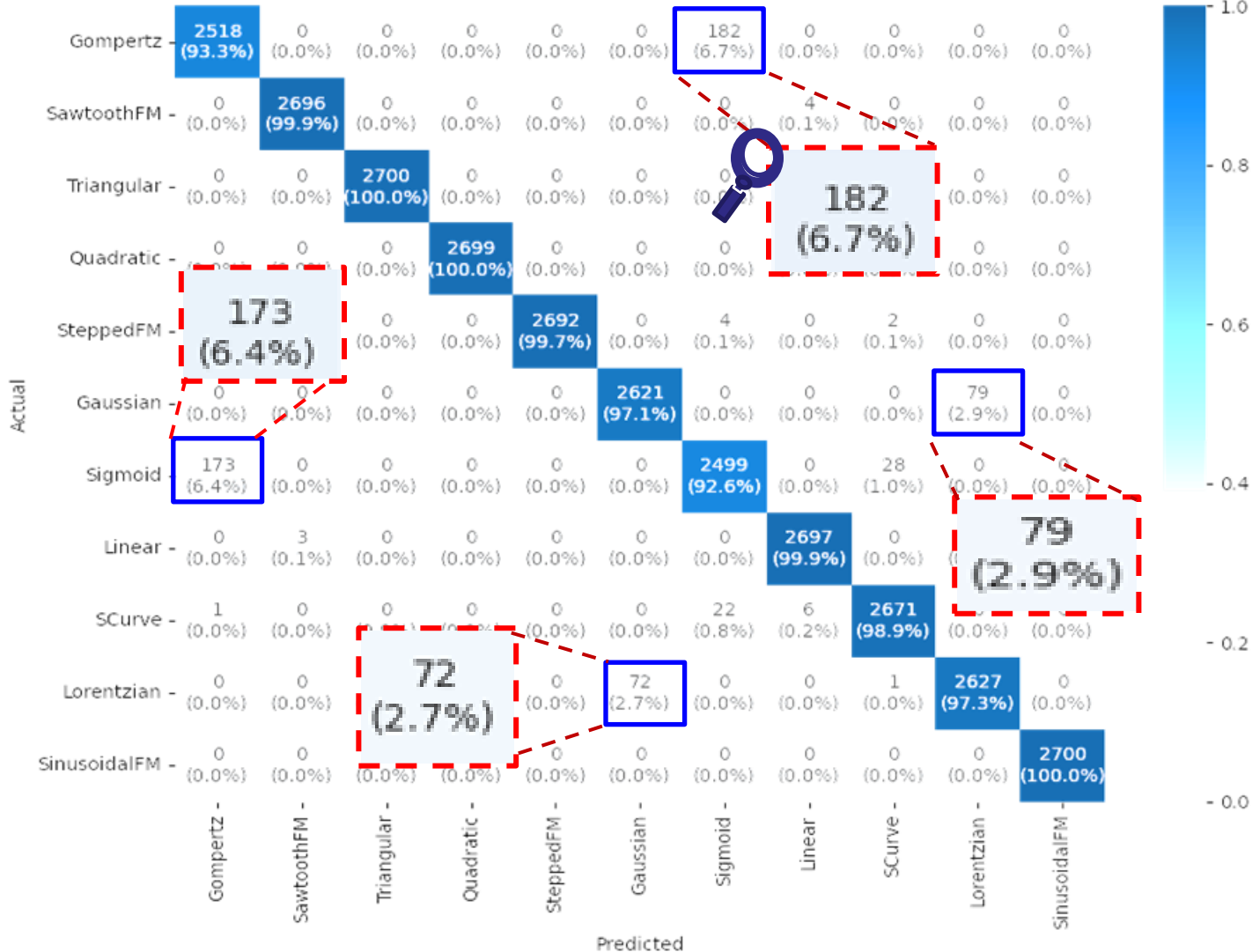


• **Overall Accuracy: 98%** The model performs well in classifying different interference classes.

• **Strong Diagonal Values:** In most cases, accuracy even reaches **100%**.

VGGNet Results

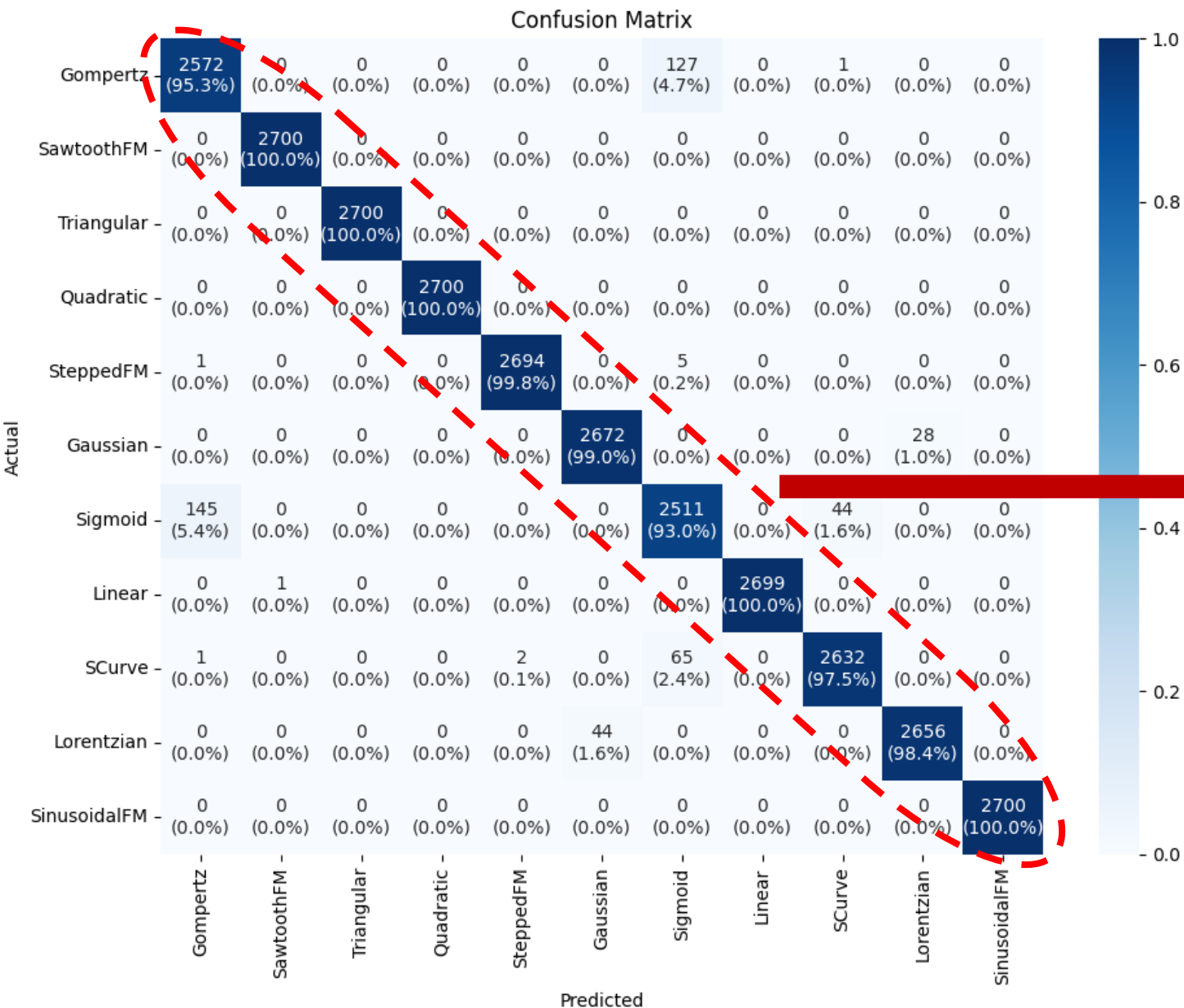
Confusion Matrix



Results Analysis

- **Misclassifications:** In few cases, the model is unable to differentiate between specific forms of signals (e.g., Gompertz, Sigmoid, Gaussian).

ResNet Results

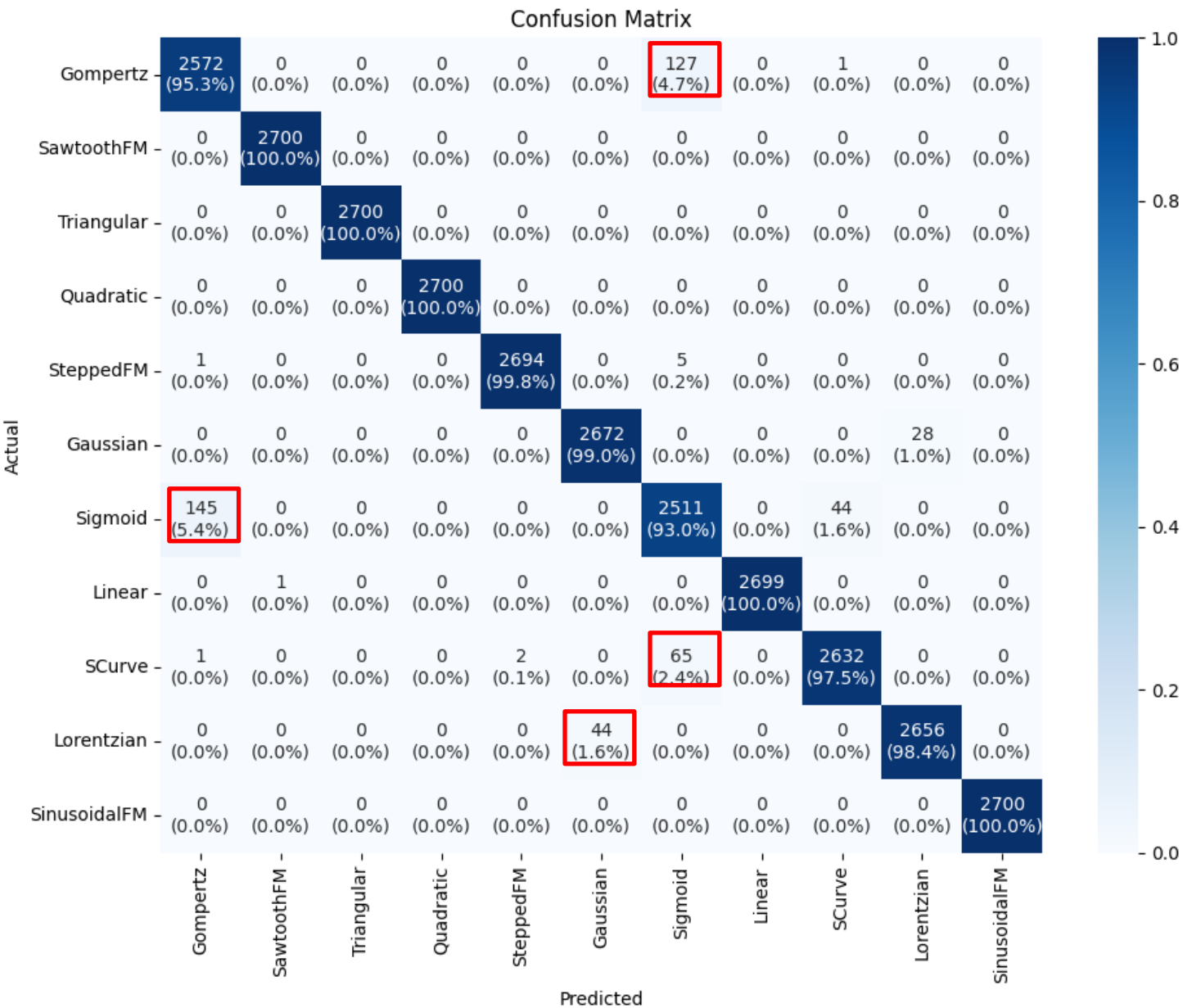


Results Analysis

- Overall Accuracy:** The ResNet model shows similar performance **99%** classification accuracy.

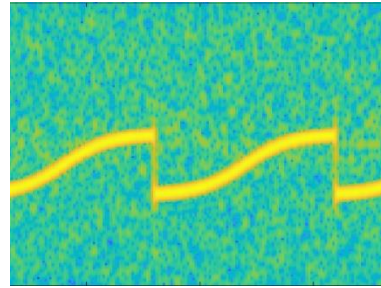
- Diagonal Values:** Predictions closely align with the actual classes, showcasing high precision across all categories. Even certain signal types, including SawtoothFM, Triangular, Quadratic, Linear and SinusoidalFM, achieved **100%** accuracy.

ResNet Results

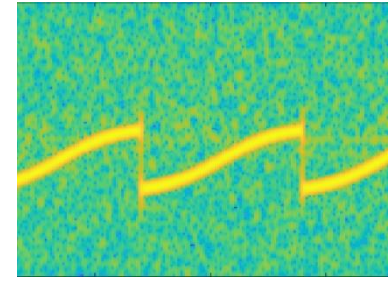


➤ **Some Off-Diagonal** : While the model performs well but still few misclassification cases can be seen.

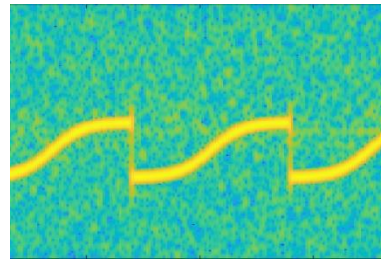
An overlapping example : S-curve sample comparison with Sigmoid instances under varying parameter configurations:



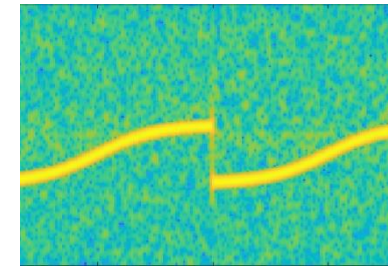
(a) S-curve



(b) Sigmoid (Config. 1)



(c) Sigmoid (Config. 2)



(d) Sigmoid (Config. 3)

Comparison of misclassifications between VGGNet and ResNet models

Expected Class	Predicted class	VGGNet	ResNet	Improvement
Sigmoid	Gompertz	173	145	↓ 28
Gompertz	Sigmoid	182	127	↓ 55
Sigmoid	S-Curve	28	44	↑ 16
Lorentzian	Gaussian	72	44	↓ 28
Gaussian	Lorentzian	79	28	↓ 51

General Conclusion/Short Summary

- ❑ Création d'une base de données intégrant **11** types de signaux en chirp (par exemple, linéaire, quadratique, sigmoïde, Gompertz...) avec **148 500** scénarios.
- ❑ Développement de 2 modèles avancés d'apprentissage profond (VGGNet et ResNet) pour la classification des interférences afin de sélectionner le filtre approprié.
- ❑ De manière générale, les performances des deux modèles montrent que les échantillons sont classés dans leurs classes respectives avec une précision supérieure à 98 %.
- ❑ Les deux modèles ont obtenu de bons résultats dans la distinction des différentes classes d'interférences ; le modèle ResNet semble toutefois plus performant que VGGNet, avec un nombre réduit d'erreurs de classification.

Améliorations possibles

- Changer ou mettre à jour le modèle
- Incorporer des features statistiques additionnels pour réduire les mauvaises classifications.

Extension:

- Concevoir des réseaux neuronaux afin de caractériser les signaux d'interférence générés et de sélectionner le filtre d'atténuation le plus adapté, avec des paramètres optimisés.
- Intégrer d'autres types de signaux d'interférence dans cette étude. .

Conséquences pour les étapes suivantes :

- Évaluer la pertinence des méthodes proposées dans le cadre des stratégies d'atténuation des interférences.
- Évaluer l'impact des erreurs de classification sur les étapes suivantes.

Perspectives

Thank you for your attention

For more questions:

yasmine.chaiben@univ-eiffel.fr

