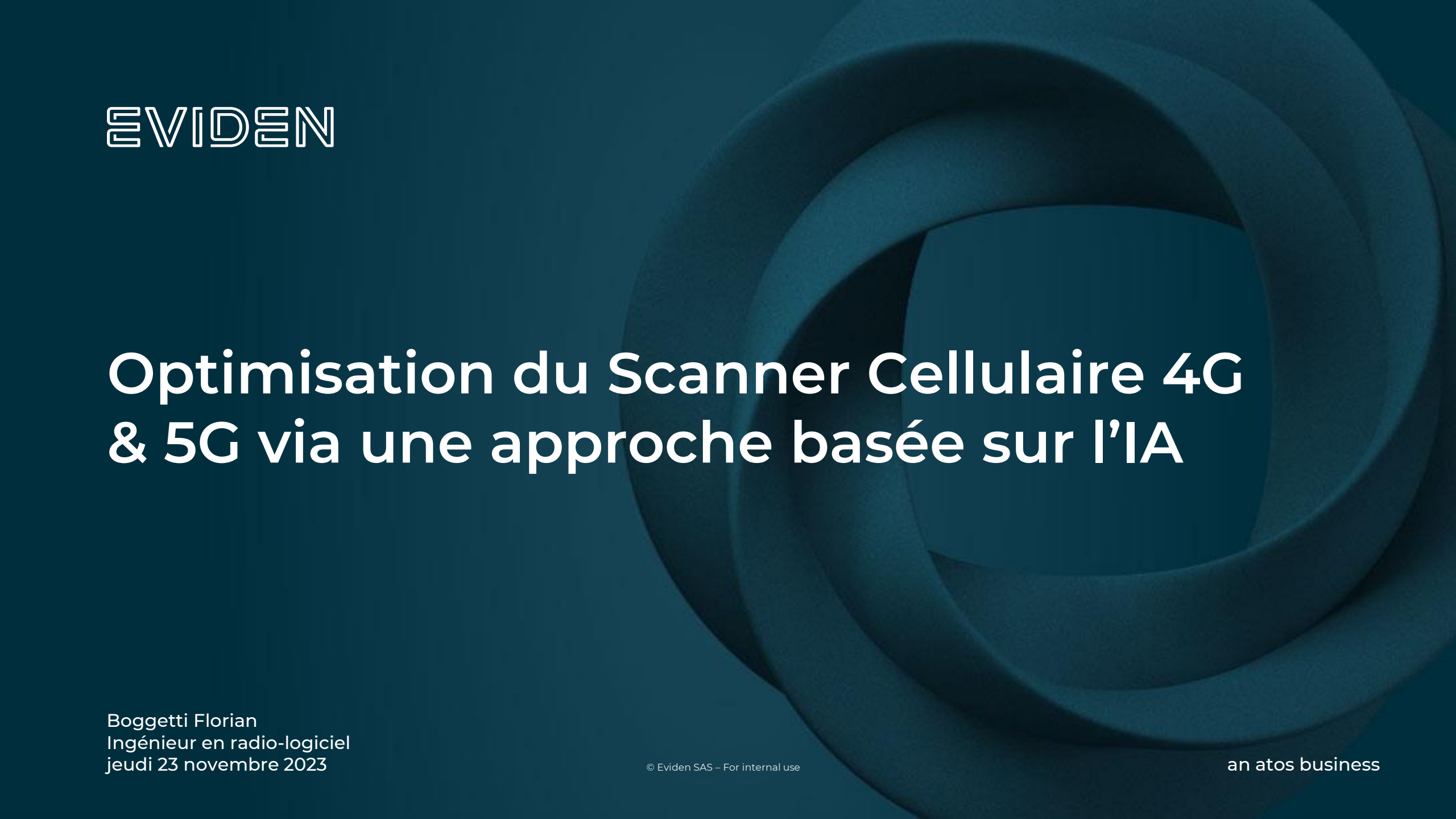


The background of the slide features a series of concentric, overlapping circles in various shades of dark teal and blue, creating a tunnel-like or ripple effect that draws the eye towards the center.

EVIDEN

Optimisation du Scanner Cellulaire 4G & 5G via une approche basée sur l'IA

Boggetti Florian
Ingénieur en radio-logiciel
jeudi 23 novembre 2023

© Eviden SAS – For internal use

an atos business

EVIDEN

Sommaire

01
Rappel sur les
technologies cellulaires

02
Contexte et objectifs
du projet

03
Structure globale du
projet

04
Résultats

05
Axes d'améliorations

Conclusion

EVIDEN

01 Rappel sur les technologies cellulaires

Rappel sur les technologies cellulaires

3G

- Modulation : WCDMA
- Largeur de bande d'une cellule possible : 5 MHz
- Nombre de bande où on peut trouver de la 3G FDD : 21
- Nombre de bande où on peut trouver de la 3G TDD : 8
- Seule les bandes 1 (en phase de sortie) et 8 sont utilisées en Europe
- La bande 8 est partagée avec le GSM (2G)

4G

- Modulation : OFDM
- Largeur de bande possible : 1,4 ; 3 ; 5 ; 10 ; 15 ; 20 MHz
- Nombre de bande où on peut trouver de la 4G FDD : 34
- Nombre de bande où on peut trouver de la 4G TDD : 8
- En France les bandes 1, 3, 7, 20 et 28 sont utilisées

5G

- Modulation : OFDM
- Largeur de bande possible : 5 ; 10 ; 15 ; 20 ; 25 ; 30 ; 35 ; 40 ; 45 ; 50 ; 60 ; 70 ; 80 ; 90 ; 100 MHz
- Nombre de bande où on peut trouver de la 5G FDD : 28
- Nombre de bande où on peut trouver de la 5G TDD : 20
- En France les bandes 1, 3, 7, 20, 28 et 78 sont utilisées

EVIDEN

02 Contexte et objectifs du projet

Contexte

- Un scanner a pour objectif d'identifier l'ensemble des cellules se trouvant dans l'environnement autour du capteur.
- Le principal défaut de ce système est d'avoir un temps de réalisation excessivement long.
- Si on considère un scan exhaustif des bandes 1, 3, 7, 8 ,20 et 28 (largeur de bande total de 300 MHz), le scanner doit réaliser 3000 itérations (une itération pour chaque ARFCN, soit une itération toute les 100 kHz) uniquement par la technologie 4G.
- Pour avoir un ordre de grandeur, en moyenne, l'ensemble du processus prend entre 25 et 30 minutes.

Objectifs

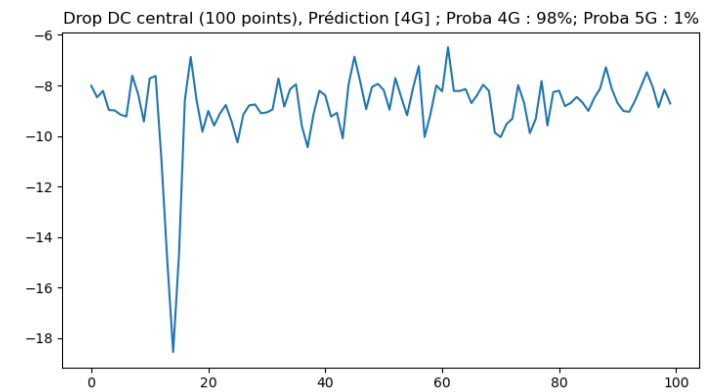
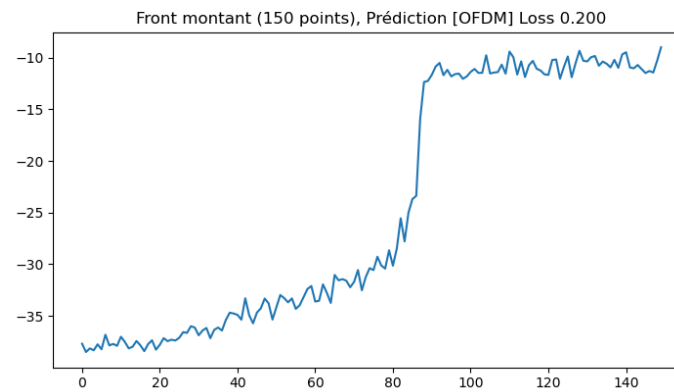
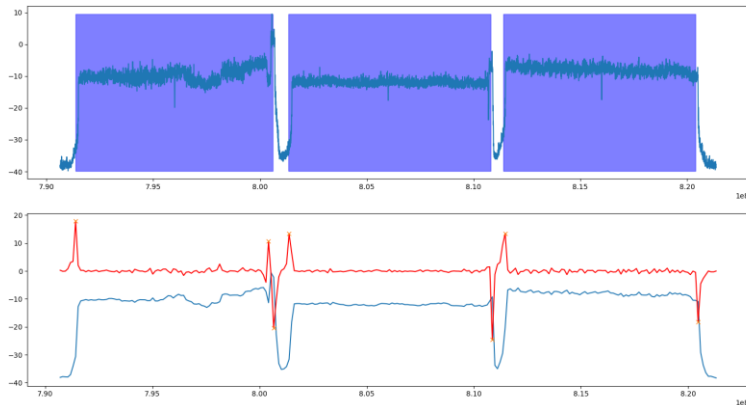
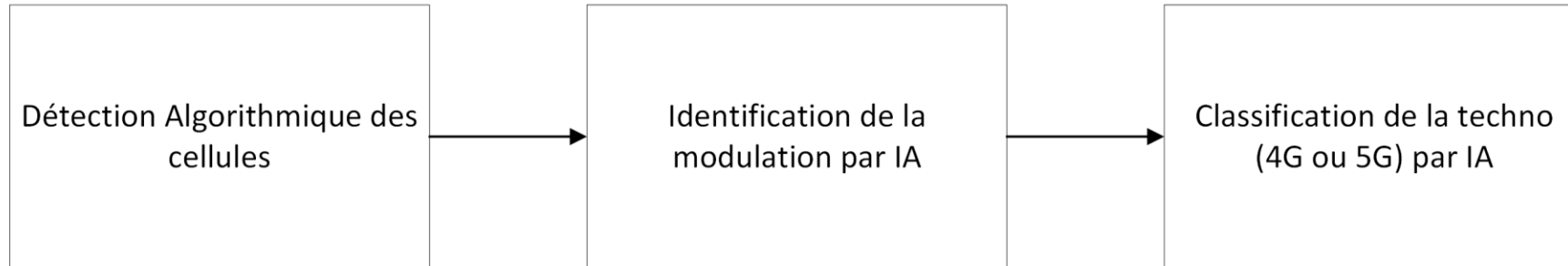
- On cherche à réduire un maximum le temps de réalisation du processus à environ 5 minutes.
- Une méthode envisagée pour réduire le temps est de réduire le nombre d'itération.
- Pour réduire le nombre d'itération on peut déjà utiliser la méthode de recherche par voisinage.
- Lorsqu'on décode les informations contenues dans les SIB (System Information Bloc) 4 et 5, on obtient des informations sur les cellules voisines du même opérateur.
- Mais cette méthode oblige tout de même à faire des scans exhaustifs pour identifier au moins une cellule pour chaque opérateur.
- L'idée de ce projet est de réduire au maximum les étapes de scan exhaustifs voir de les supprimer en créant une nouvelle méthode qui s'appuie sur l'IA.

EVIDEN

03 Structure globale du projet

Structure globale du projet

Schéma bloc d'ensemble



Focus sur la détection

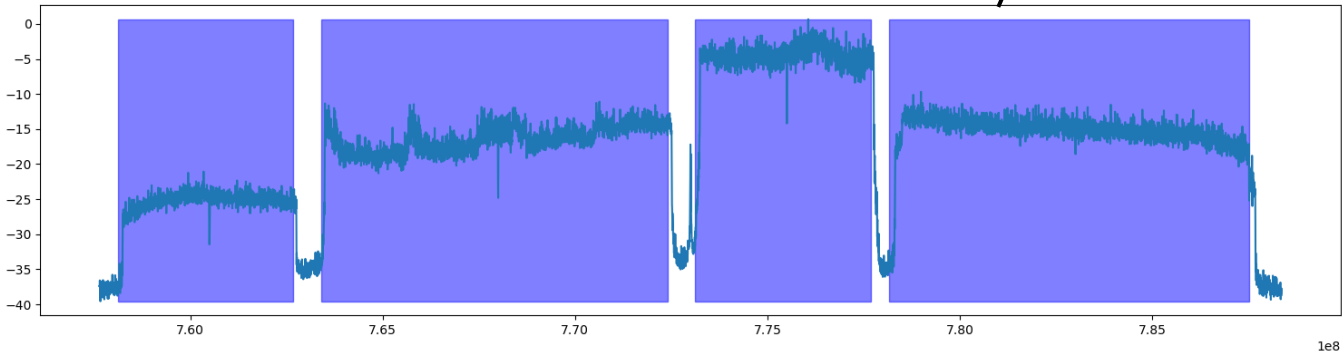
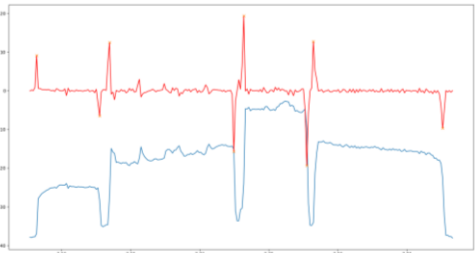
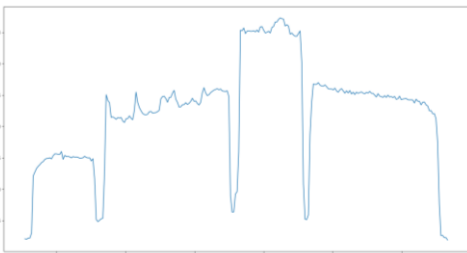
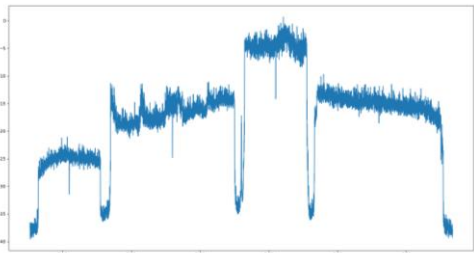
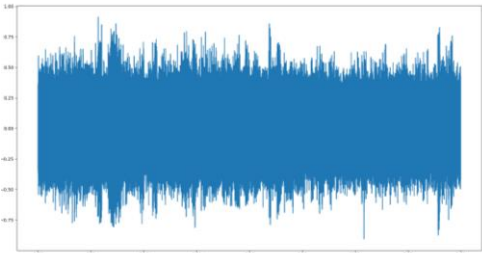
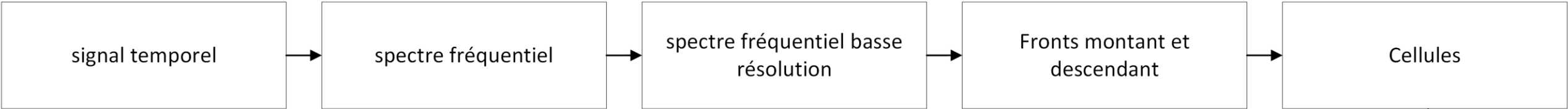
Fonctionnement de la détection

Transformée de fourier

Abaissement de la résolution

Dérivée du signal et détection
des pics

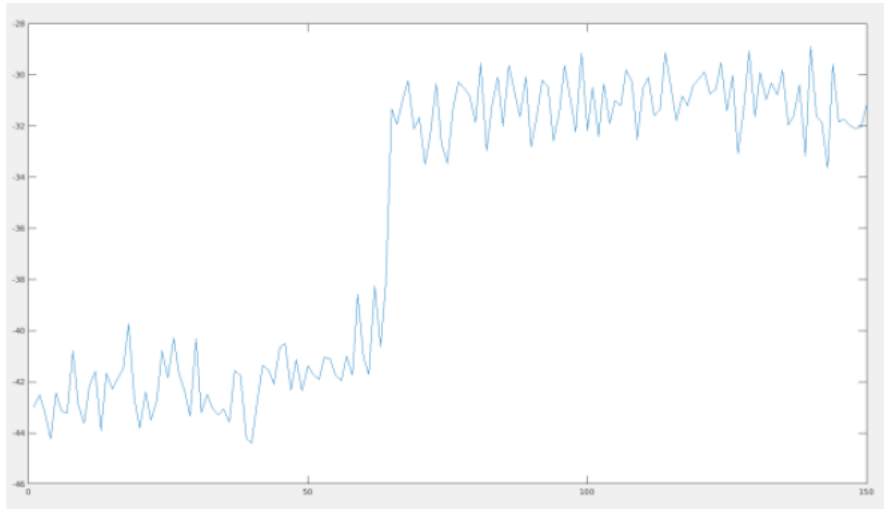
Association des fronts montant
et descendant



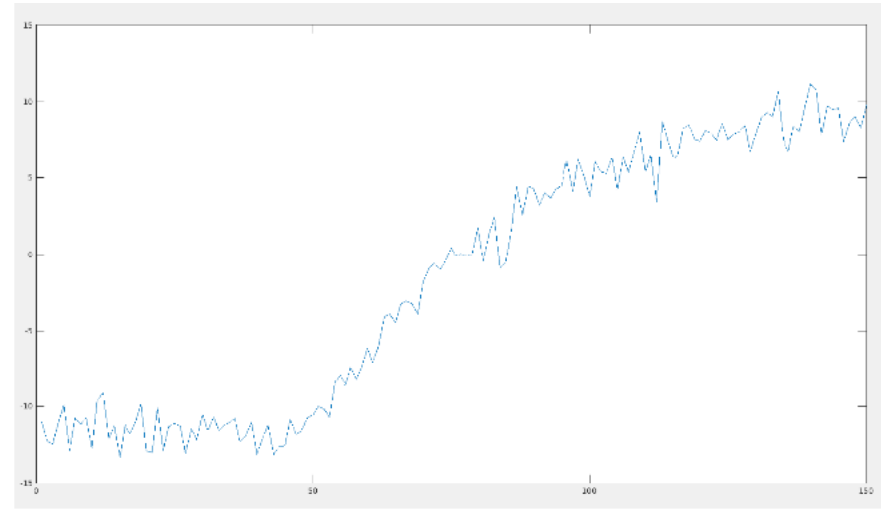
Focus sur l'identification de la modulation

Stratégie d'identification OFDM

- Les générations de technologies cellulaires ont adopté différents formats de modulation.
- La 4G et la 5G utilisent l'OFDM, tandis que la 3G opte pour le CDMA et la 2G pour le FDM.
- Une des caractéristiques de ces modulations est la forme de leurs bords de bande.
- Le bord de bande de l'OFDM se distingue des autres car elle a une forme rectangulaire.
- La stratégie d'identification de l'IA se base sur cette caractéristique.



Bord de bande OFDM

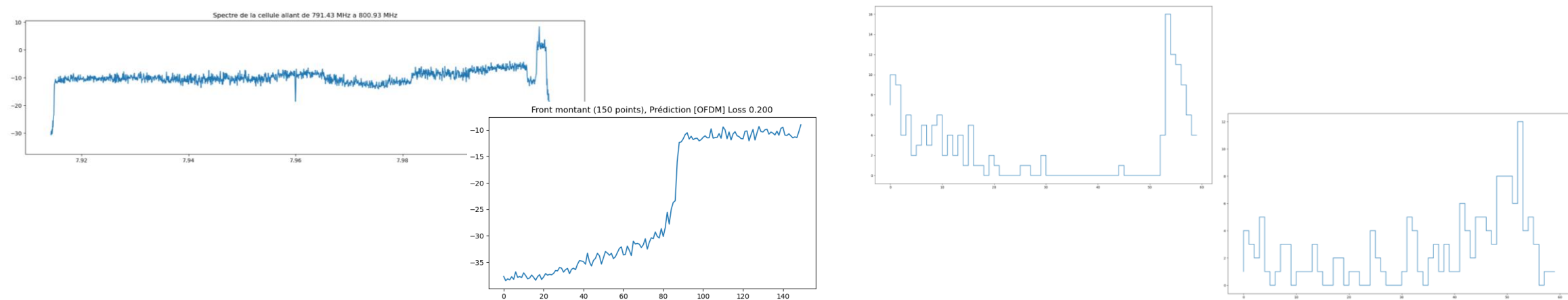
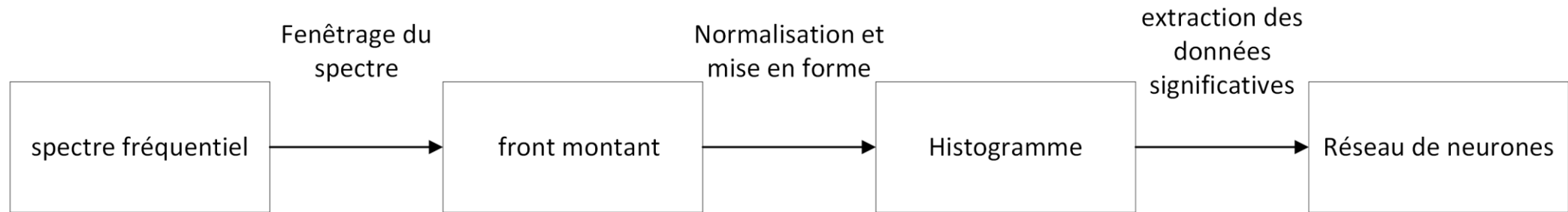


Bord de bande CDMA

Focus sur l'identification de la modulation

Pré-traitement identification OFDM

- Détecter la technologie de modulation se résume donc à classifier les cellules en fonction de la pente de leurs bords de bande.
- La méthode employée est la suivante :



- On extrait de l'histogramme un échantillon de 20 points au centre de celui-ci.

- L'objectif de l'IA est simplement de vérifier la présence d'une quantité excessive de données.

Focus sur l'identification de la modulation

IA d'identification OFDM

- Le modèle d'IA utilisé est de type auto-encodeur
- il s'agit d'un algorithme d'apprentissage semi supervisé
- seules les données dites «normales » (ici OFDM) sont utilisées pour l'apprentissage
- l'auto-encodeur, qui a une structure optimisée pour dégrader et reconstruire une information, va très bien savoir comment compresser et décompresser les données normales, mais très mal d'autres types de données
- En revanche, au moment de la validation, un mélange de données « normales » et « anormales » (ici UMTS) est requis pour vérifier la détection et observer le placement du seuil de décision
- Il faut ensuite choisir un seuil de décision qui permettra de classifier les échantillons comme des anomalies ou non

Focus sur la classification de technologie cellulaire

Stratégie de classification 4G ou 5G

- Bien que les technologies 4G et 5G utilisent toutes les 2 la modulation OFDM, la forme d'onde utilisée par les 2 technologies a tout de même évoluée.
- Les équations ci-dessous prouvent que le DC carrier n'est pas présent en 4G (LTE) mais qu'il est présent en 5G (NR) :

< 36.211- 6.12 >

$$s_l^{(p)}(t) = \sum_{k=-\lfloor N_{RB}^{DL} N_{sc}^{RB} / 2 \rfloor}^{-1} a_{k^{(-)}, l}^{(p)} \cdot e^{j2\pi k \Delta f (t - N_{CP, l} T_s)} + \sum_{k=1}^{\lfloor N_{RB}^{DL} N_{sc}^{RB} / 2 \rfloor} a_{k^{(+)}, l}^{(p)} \cdot e^{j2\pi k \Delta f (t - N_{CP, l} T_s)} \quad : \text{LTE}$$

$k^{(-)} = k + \lfloor N_{RB}^{DL} N_{sc}^{RB} / 2 \rfloor$
 $k^{(+)} = k + \lfloor N_{RB}^{DL} N_{sc}^{RB} / 2 \rfloor - 1$

The point at k=1 is not used for wavefor generation because it is DC carrier

< 38.211-5.3 >

$$s_i^{(p, \mu)}(t) = \sum_{k=-\lfloor N_{RB}^{\mu} N_{sc}^{RB} / 2 \rfloor}^{\lfloor N_{RB}^{\mu} N_{sc}^{RB} / 2 \rfloor - 1} a_{k', i}^{(p, \mu)} \cdot e^{j2\pi k \Delta f (t - N_{CP, i} T_s)} \quad : \text{NR}$$

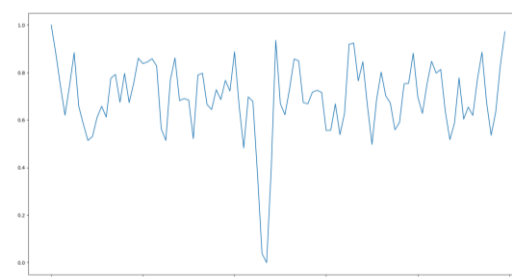
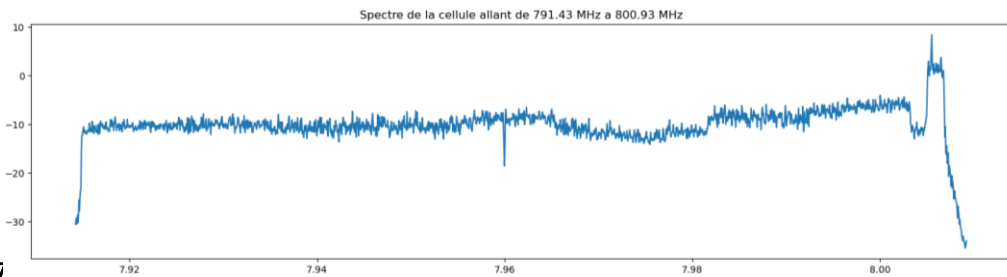
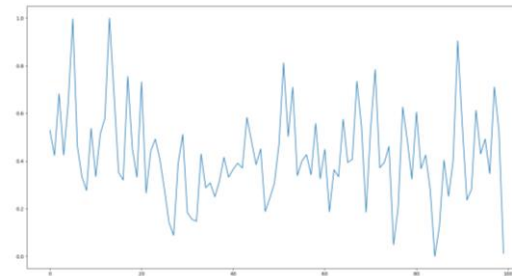
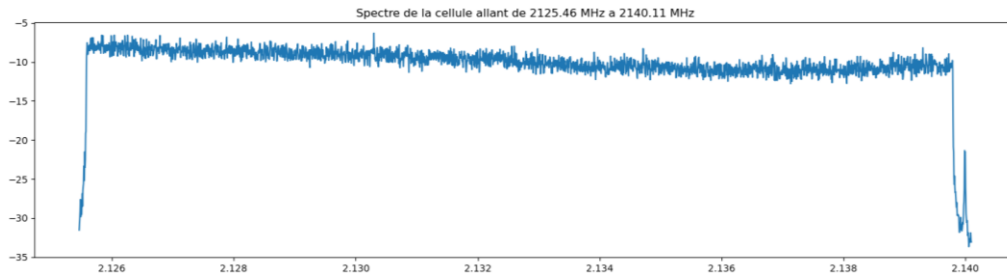
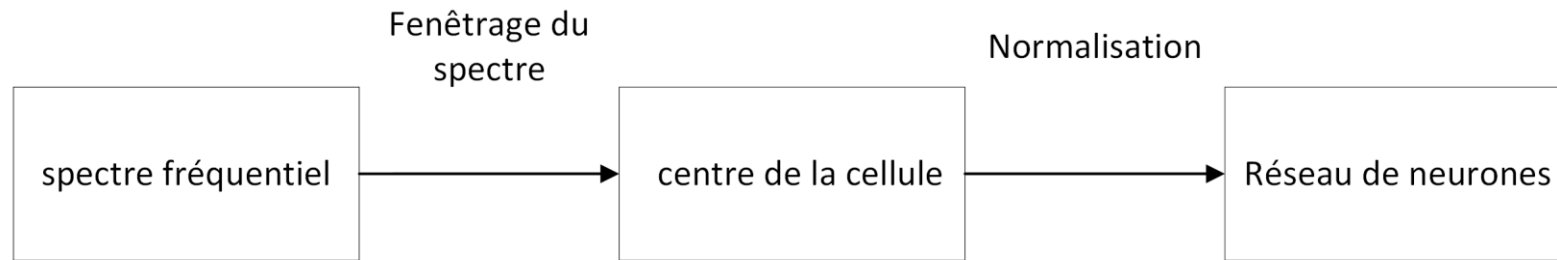
The point at k=0 is used for wavefor generation

- En LTE, l'équation de génération de forme d'onde (essentiellement l'équation IFFT) est divisée en deux parties juste pour supprimer le point situé à l'emplacement DC (c'est-à-dire à une fréquence = 0 dans la bande de base). Dans NR (5G), cette suppression de DC n'est plus nécessaire et l'équation IFFT complète est combinée en une seule.
- C'est cette particularité qui est utilisée pour classifier les technologies.

Focus sur la classification de technologie cellulaire

Pré-traitement de classification 4G ou 5G

- Détecter la génération se résume donc à classifier les cellules en fonction de la présence ou non de signal au centre de leurs cellule.
- La méthode employée est la suivante :



Focus sur la classification de technologie cellulaire

IA classification de technologie cellulaire

- Le modèle d'IA utilisé est de type Random Forest
- C'est un algorithme de machine learning
- Ces modèles offrent de la robustesse en étant moins sensibles aux variations des données d'entraînement par rapport à un seul arbre de décision. Cela permet de réduire l'overfitting et d'améliorer la généralisation par rapport aux arbres de décision classiques.

EVIDEN

04 Résultats

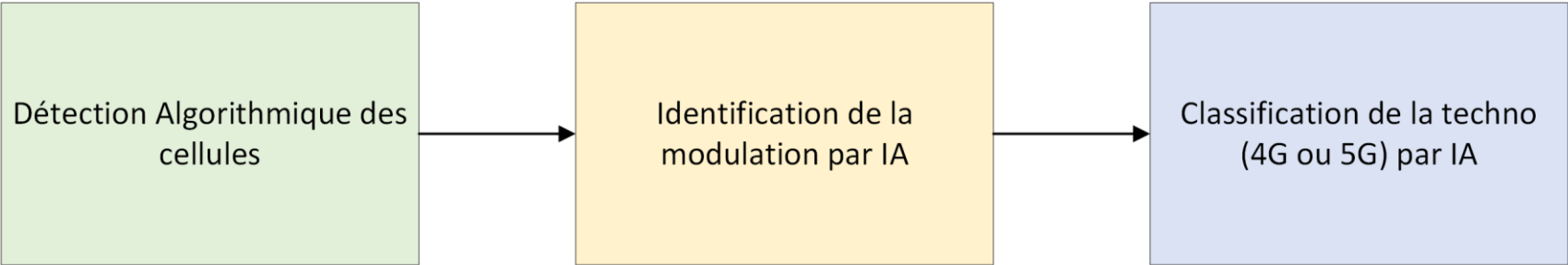
Procédure de test

Test 1 : détection, identification et classification sur échantillon réels

- Des acquisitions de signaux réels ont été réalisées en salle Sainte Victoire
- Ces acquisitions ont été réalisées à l'aide d'un N310
- Nous avons tout d'abord réalisé un scan classique pour identifier les cellules présentes dans notre environnement
- Puis nous avons enregistré les signaux temporels en binaire que nous avons ensuite traité avec le programme



Bande	Techno	Cellule scannée	
		ARFCN/GSCN	Fréquence
B1	4G	78	2117,8
		227	2132,7
		375	2147,5
		524	2162,4
B3	4G	1300	1815
		1501	1835,1
		1675	1852,5
		1850	1870
B7	4G	2825	2627,5
		3000	2645
		3175	2662,5
		3350	2680
B20	4G	6200	796
		6300	806
		6400	816
B28	4G	9235	760,5
		9310	768
		9385	775,5
	5G	1956	782,55



Résultats

Analyse des résultats de la détection, de l'identification et de la classification

- Le but de ce premier test est de caractériser le fonctionnement des différents éléments de la chaine à partir des échantillons dont on dispose
- Le tableau ci-dessous recenses les résultats issus des différents spectres

Bande	Fréquence centrale de l'acquisition	Bande passante	Gain	Nombre de cellule à détecter	Nombre de détection totale	Nombre de détection réussie	Pourcentage de réussite	Nombre d'identification OFDM possible	Nombre d'identification OFDM réussie	Pourcentage de réussite	Nombre d'identification Techno possible	Nombre d'identification Techno réussie	Pourcentage de réussite
B1	2140	61,44	40	4	4	4	100%	4	4	100%	4	4	100%
	2140	61,44	60	4	4	4	100%	4	3	75%	3	3	100%
B3	1842,5	122,88	40	4	4	4	100%	4	4	100%	4	4	100%
	1842,5	122,88	60	4	4	4	100%	4	2	50%	2	2	100%
B7	2655	122,88	40	4	4	4	100%	4	4	100%	4	4	100%
	2655	122,88	60	4	4	4	100%	4	3	75%	3	3	100%
B20	806	30,72	40	3	3	3	100%	3	3	100%	3	3	100%
	806	30,72	60	3	3	3	100%	3	0	0%	0	0	N/C
B28	773	30,72	40	4	4	4	100%	4	4	100%	4	3	75%
	773	30,72	60	4	4	4	100%	4	3	75%	3	2	67%
B20+B28	789,5	122,88	40	7	7	7	100%	7	6	86%	6	6	100%
	789,5	122,88	60	7	7	7	100%	7	2	29%	2	1	50%
TOTAL				52	52	52	100%	52	38	73%	38	35	92%

Détection, identification et classification complète réussies

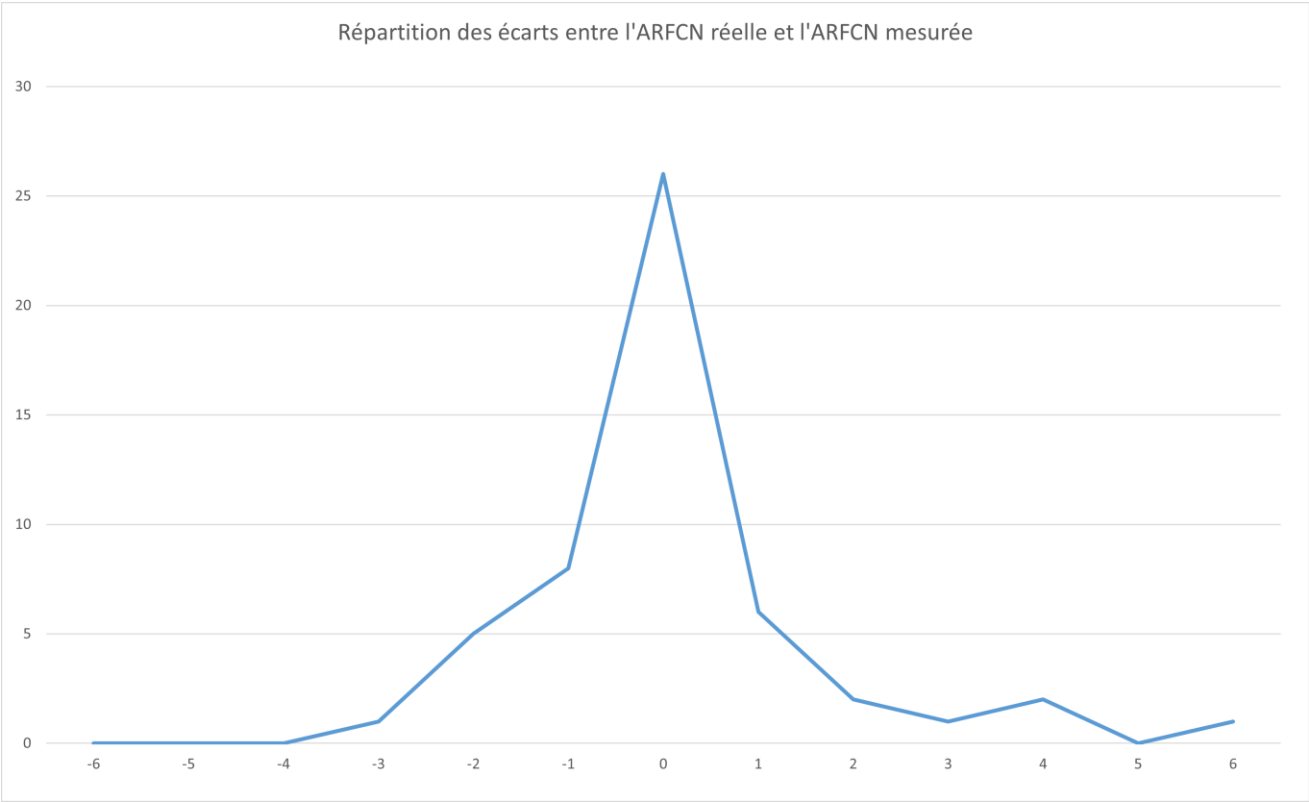
67%

Résultats

Analyse des résultats sur les tests de précision de mesure de la fréquence centrale

- Cette analyse compare les fréquences centrales estimées par le « scanner » assisté par IA avec les fréquences réelles de différentes cellules.
- Le but de cette analyse est de caractériser la précision du détecteur de cellule afin de s’assurer de sa pertinence pour une utilisation conjointe avec un scanner traditionnel.

Statistique sur la différence entre l'ARFCN Réelle et mesurée sur 52 échantillons						
Ecart-type	Moyenne	Ecart-max	1er quartile	Mediane	3ème quartile	Ecart-interquartile
1,579945968	0,115384615	9	-1	0	0	1

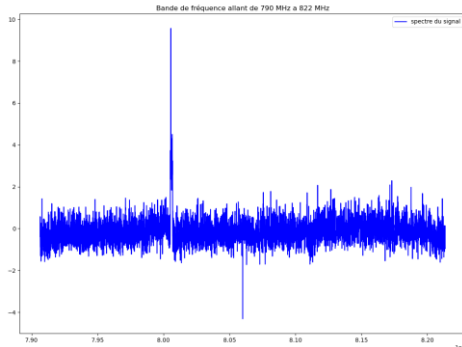


Résultats

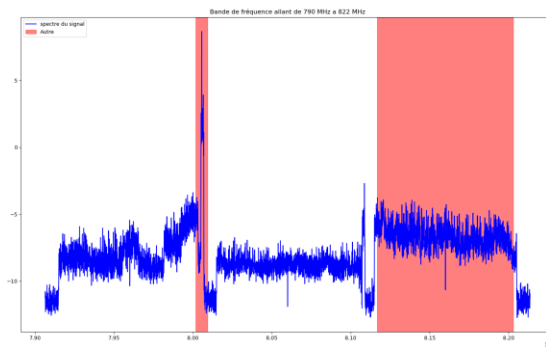
Test 2 : Détermination de la sensibilité des différents éléments de la chaine

- Pour estimer la sensibilité des différents éléments de la chaine nous avons récupéré le signal de la bande 20
- Nous avons ensuite ajouté du bruit plus ou moins puissant pour faire varier le SNR

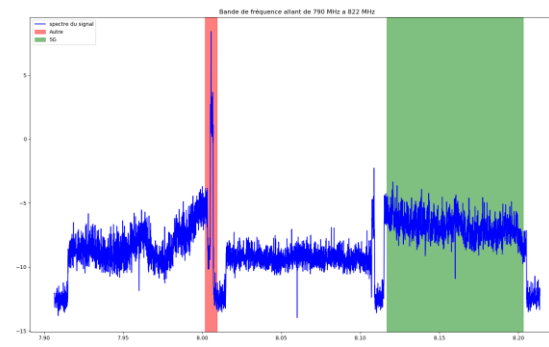
Spectre SNR 0



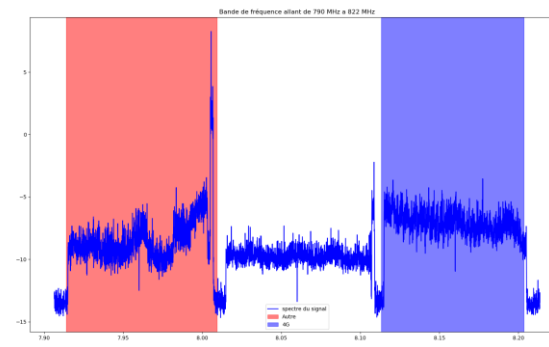
Spectre SNR 5



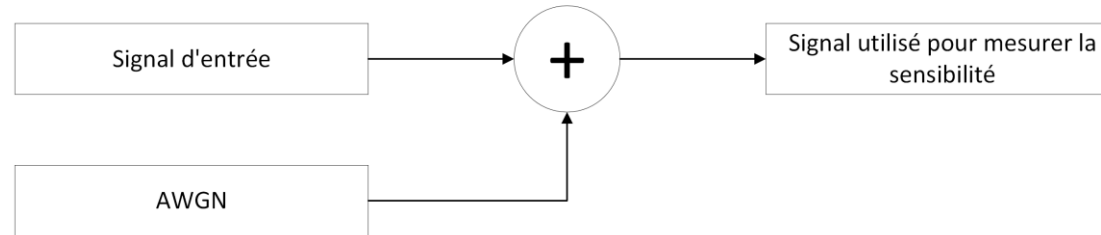
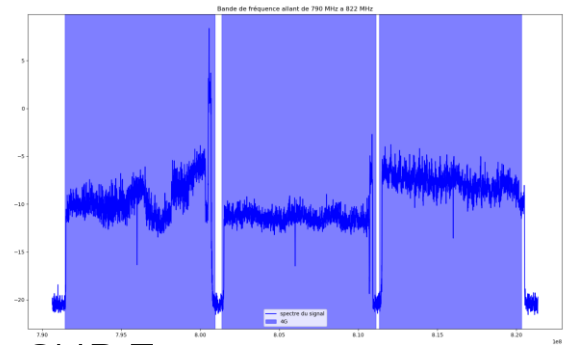
Spectre SNR 6



Spectre SNR 7



Spectre SNR 14



Résultats

Analyse des résultats sur les tests de sensibilité

SNR	Détection de la cellule	identification OFDM	identification 4G/5G	Détection de la cellule2	identification OFDM2	identification 4G/5G2	Détection de la cellule3	identification OFDM3	identification 4G/5G3
0	FAUX			FAUX			FAUX		
1	FAUX			FAUX			FAUX		
2	FAUX			FAUX			FAUX		
3	FAUX			FAUX			FAUX		
4	FAUX			FAUX			FAUX		
5	FAUX			FAUX			VRAI	FAUX	
6	FAUX			FAUX			VRAI	VRAI	FAUX
7	VRAI	FAUX		FAUX			VRAI	VRAI	VRAI
8	VRAI	VRAI	FAUX	FAUX			VRAI	VRAI	VRAI
9	VRAI	VRAI	FAUX	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI
10	VRAI	VRAI	FAUX	VRAI	FAUX		VRAI	VRAI	VRAI
11	VRAI	VRAI	FAUX	VRAI	VRAI	FAUX	VRAI	VRAI	VRAI
12	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	FAUX	VRAI	VRAI	VRAI
13	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	FAUX	VRAI	VRAI	VRAI
14	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI
15	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	FAUX	VRAI	VRAI	VRAI
16	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI
17	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI
18	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI
19	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	FAUX	VRAI	VRAI	VRAI
20	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	FAUX	VRAI	VRAI	VRAI

EVIDEN

05 Axes d'améliorations

Axes d'améliorations

- Lors du pré-traitement, seule la représentation fréquentielle du signal à l'aide d'une transformée de Fourier a été exploitée.
- Cependant, de nombreuses autres transformations existent.
- SCF (Spectral Correlation Fonction) semblait intéressante puisqu'elle permettait de faire ressortir les caractéristiques cyclos stationnaires des signaux. Les signaux cellulaires respectant des normes, ils possèdent notamment des patterns périodiques permettant la synchronisation aux cellules qui se retrouvent dans la SCF.
- Il serait également intéressant d'entraîner une intelligence artificielle avec un réseau de neurone plus étoffé à reconnaître directement les cellules à partir d'un signal temporel ou d'un spectre.

EVIDEN

06 Conclusion

Conclusion

- L'objectif initial était de trouver un moyen d'accélérer la vitesse des scans classiques.
- La durée d'exécution d'un tel programme est de quelques dizaines de secondes par bande.
- Avec un écart-type d'environ 1,6, cela réduirait drastiquement le nombre d'itération en permettant au scanner de pointer directement sur les ARFCN qui lui semble propice à décoder.
- Cette méthode pourrait également être combinée avec la méthode de découverte par voisinage qui permet également de gagner du temps.
- La prochaine étape du projet sera d'interconnecter le scanner assisté par IA avec un scanner classique pour mesurer le temps et la précision du système et de le comparer avec un scan exhaustif.

EVIDEN

Questions ?



The background features a large, abstract graphic of interlocking loops, resembling a complex knot or a series of overlapping ribbons, rendered in various shades of blue and teal. This graphic occupies the right half of the slide.

EVIDEN

Merci pour votre attention

Confidential information owned by Eviden SAS, to be used by the recipient only.
This document, or any part of it, may not be reproduced, copied, circulated
and/or distributed nor quoted without prior written approval from Eviden SAS.

© Eviden SAS – For internal use