

AVANTIX

Avancement Simulateur IQ

07/11/2023

© Avantix – for internal use

Sommaire

- ▶ Simulateur
- ▶ FO RADAR
- ▶ Fusion des IQ

AVANTIX

Simulateur

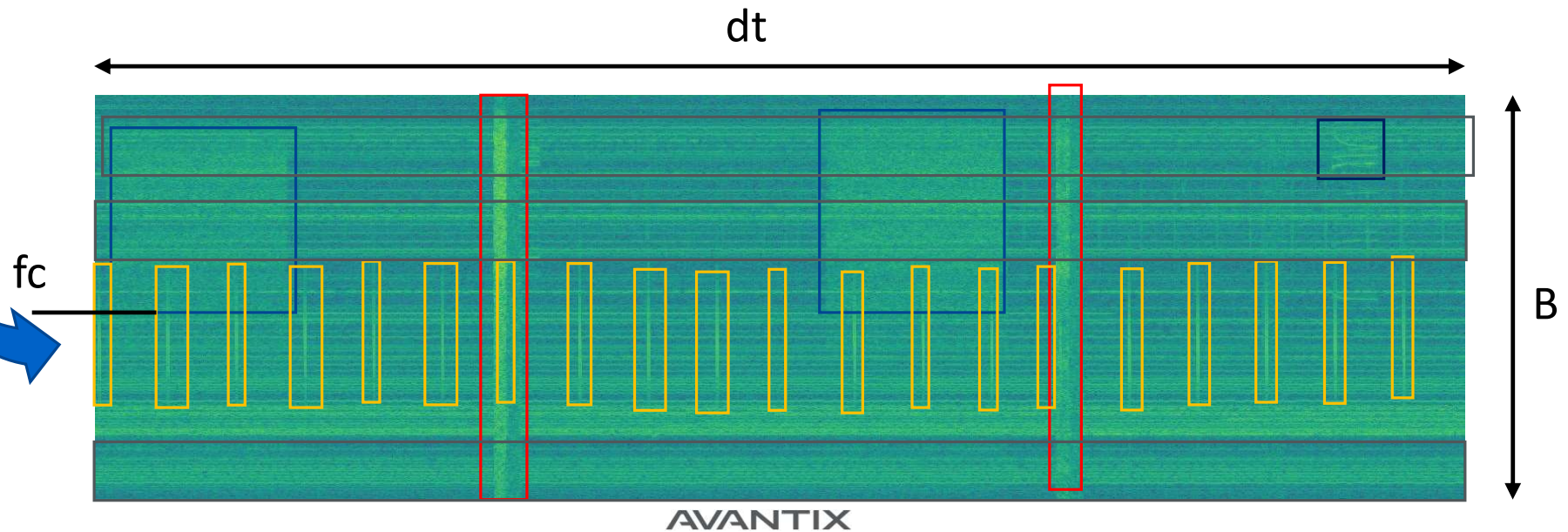
07/11/2023

© Avantix – for internal use

Besoin

Avoir un programme qui génère en sortie :

- un enregistrement IQ
 - d'une certaine durée dt ,
 - centrée autour d'une fréquence centrale f_c ,
 - sur une largeur de bande B
- Et un fichier de label par enregistrement ayant une ligne par signal : $tmin$, $tmax$, $fmin$, $fmax$, label



Simulateur

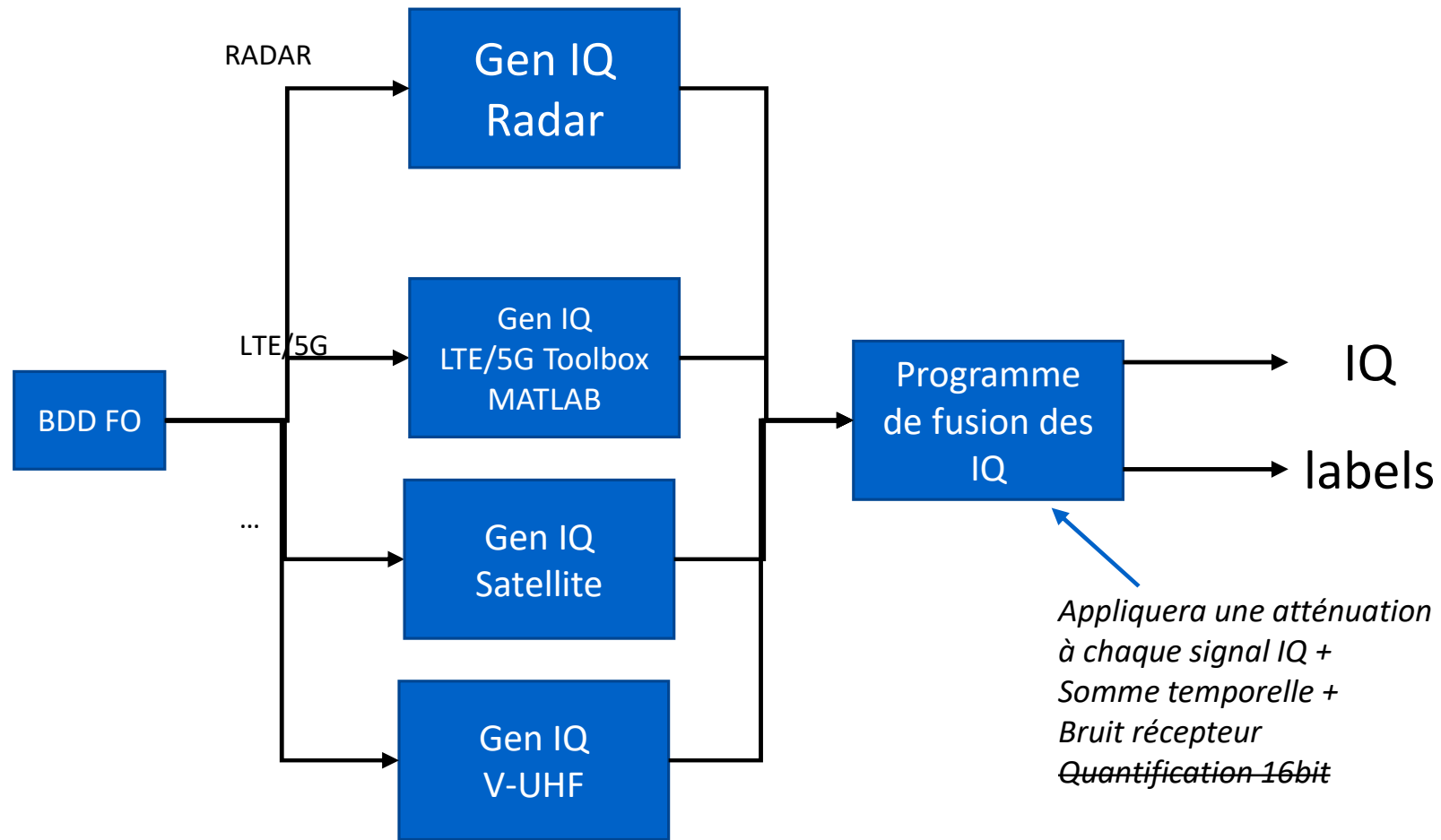
Ce que le programme fera :

- Capable de générer un signal IQ des FO suivantes :
 - **RADAR**
 - **LTE/5G**
 - V-UHF
 - LoRA bande ISM

Ce que le programme ne fera pas :

- Gérer les cas spécifiques à chaque protocole de communication
- Préfiltrer des FO pour des raisons d'occupation spectrale irréaliste
- Pondérer de manière réaliste les puissances de réception

Spécifications fonctionnelles



AVANTIX

Spécifications fonctionnelles

python

```
from pkg import Simulator

sim = Simulator(dt, fc, bw,
waveforms=None)

simulation = sim.simulate()

simulation.write('data.pkl')
```

- `dt` définit la durée
- `fc` définit la fréquence centrale
- `bw` définit la largeur de bande.
- `waveforms` est un paramètre optionnel. Par défaut, les formes d'ondes seront sélectionnées de manière aléatoire parmi celles présentes dans la bande B.

Spécification en cours de rédaction :

\\srv-filer01.global.ad\AFFAIRES TELECOM\1-10-R&D-2200\TECHNIQUE\DOCUMENTS\2 Spécification\DP078293STB004_00-Specification Simulateur R&D ELINT 2023.docx

Spécifications fonctionnelles

L'utilisateur renseigne les familles de formes d'ondes (cellulaire ou RADAR) qu'il souhaite générer sur une fenêtre temps-fréquence.

La fonction *iq_sigint_generator* va ensuite piocher aléatoirement parmi les FO éligibles et générer la fusion de tous les IQ.

Contraintes d'éligibilités :

- RADAR: Génère entre 200k et 1M d'impulsions par seconde
- Cellulaire : Un seuil d'occupation spectrale est renseigné par l'utilisateur en ratio

Dev en cours

Intégration des FO cellulaires

- A chaque itération, choix aléatoire d'une FO cellulaire
- Vérification de l'occupation spectrale
- Ajout des IQ et labels dans des listes

```
cellular
Generating sig...
Bandwidth occupancy: 20.10%
Generating sig...
Bandwidth occupancy: 21.50%
Generating sig...
Bandwidth occupancy: 35.50%
Generating sig...
Bandwidth occupancy: 45.60%
Generating sig...
Bandwidth occupancy: 50.70%
```

labels

✓ 0.0s

```
[{'fn': 2350866208.415813,
  'tmn': '2a',
  'bw(MHz)': 20.0,
  'dm': 'TDD',
  'totsubframes': 10},
 {'fn': 2349410874.0036864,
  'tmn': '3.2',
  'bw(MHz)': 20.0,
  'dm': 'TDD',
  'totsubframes': 10},
 {'fn': 2393553391.2946925,
```

AVANTIX

FO RADAR

07/11/2023

© Avantix – for internal use

F0 Radar

DI (ns)	Sans Modulation	Modulations de Fréquence (MHz/μs)		Modulations de Phase Phase / Nombre de moments	
10-100	Oui	-	-	-	
100-1_000	Oui	-	-	-	
1_000-10_000	Oui	20	100	180°	7, 8
10_000-100_000	Oui	2	10	180°	7, 8, 13, 25, 33, 39
				60°	25, 30
				45°	8, 35, 70
100_000-1_000_000	Oui	0,2	1	180°	7, 8, 13, 25, 33, 39
				60°	25, 30
				45°	8, 35, 70
1_000_000-10_000_000	Non	0,02	0,1	-	
10_000_000-100_000_000	Non	0,002	0,01	-	
100_000_000-inf	Non	0,0002	0,001	-	
CW	Oui	-	-	-	

Création d'une fonction pour la génération d'une impulsion iq

Les paramètres de cette fonction seront :

- Fréquence d'échantillonnage (Hz)
- Fréquence centrale de notre impulsion (Hz)
- Durée de l'impulsion (seconde)
- Paramètre de modulation (optionnel)
 - Modulation de fréquence (1 couple de paramètre)
 - L'évasion en fréquence (Hz)
 - L'aspect de la modulation
 - Linéaire = chirp
 - Quadratique = S-law (paramètre à fixer)
 - (autres fonctions à créer si besoin)
 - Modulation de phase
 - Angle
 - Séquence (ex: 0,1,0,0,0,1,0,1,1,1)

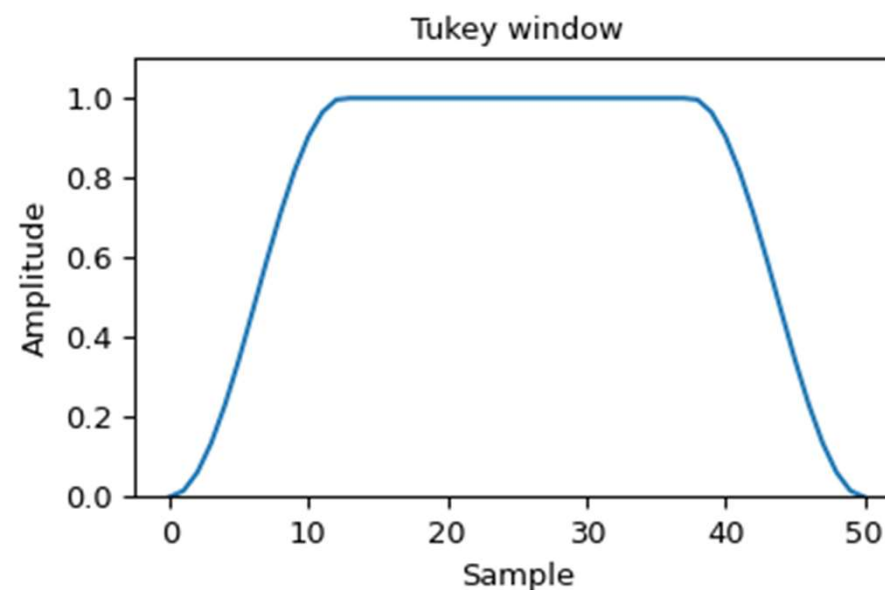
En sortie de cette fonction nous avons une impulsion avec les paramètres renseignés.

(voir exemple)

F0 Radar

DI (ns)	Sans Modulation	Modulations de Fréquence (MHz/μs)		Modulations de Phase Phase / Nombre de moments	
10-100	Oui	-	-	-	
100-1_000	Oui	-	-	-	
1_000-10_000	Oui	20	100	180°	7, 8
10_000-100_000	Oui	2	10	180°	7, 8, 13, 25, 33, 39
				60°	25, 30
				45°	8, 35, 70
100_000-1_000_000	Oui	0,2	1	180°	7, 8, 13, 25, 33, 39
				60°	25, 30
				45°	8, 35, 70
1_000_000-10_000_000	Non	0,02	0,1	-	
10_000_000-100_000_000	Non	0,002	0,01	-	
100_000_000-inf	Non	0,0002	0,001	-	
CW	Oui	-	-	-	

Atténuation des bords de l'impulsion



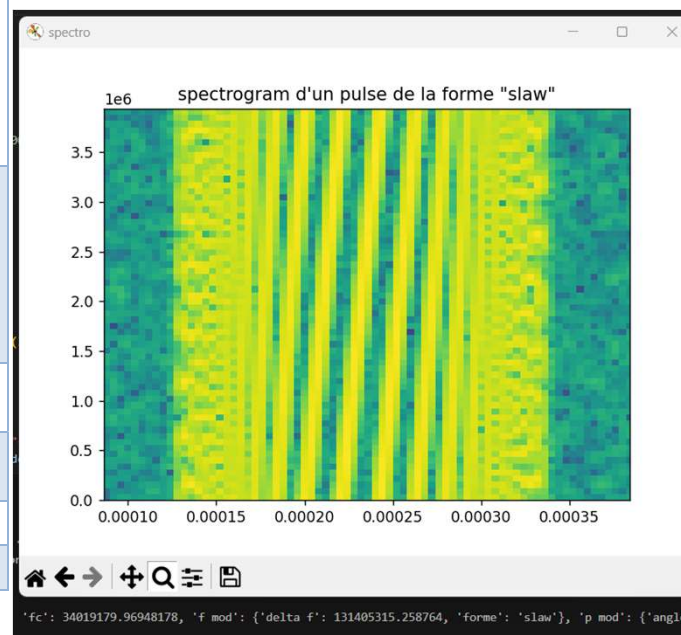
Les phases transitoires sont fixées à une durer de 2μs
Donc 4μs
Soit $p_w/4\mu s$ nous donne le ratio de 0 dans la fonction pour générer la fenêtre

F0 Radar : Modulation en fréquence

DI (ns)	Sans Modulation	Modulations de Fréquence (MHz/μs)		Modulations de Phase Phase / Nombre de moments	
10-100	Oui	-	-	-	
100-1_000	Oui	-	-	-	
1_000-10_000	Oui	20	100	180°	7, 8
10_000-100_000	Oui	2	10	180°	7, 8, 13, 25, 33, 39
				60°	25, 30
				45°	8, 35, 70
100_000-1_000_000	Oui	0,2	1	180°	7, 8, 13, 25, 33, 39
				60°	25, 30
				45°	8, 35, 70
1_000_000-10_000_000	Non	0,02	0,1	-	
10_000_000-100_000_000	Non	0,002	0,01	-	
100_000_000-inf	Non	0,0002	0,001	-	
CW	Oui	-	-	-	

Problème rencontrer sur le tableau:

- Dans le cas de HE360 nous avons une impulsion de 120μs :
 - $\Delta f_{\text{max}} = 120\text{Mhz}$
 - $\Delta f_{\text{min}} = 24\text{Mhz}$
 Sur une bande de 4M ... (impossible de simuler he360 avec ce tableau)



Exemple :

Pw : 208μs

fc : 34Mhz

Δf : 131,4Mhz

S-law

Ces paramètres ne rentrent pas dans la bande de 4Mhz...
Il faudrait une bande de 131,4Mhz minimum

F0 Radar : Modulation en fréquence

DI (ns)	Sans Modulation	Modulations de Fréquence (MHz/μs)		Modulations de Phase Phase / Nombre de moments	
10-100	Oui	-	-	-	
100-1_000	Oui	-	-	-	
1_000-10_000	Oui	20	100	180°	7, 8
10_000-100_000	Oui	2	10	180°	7, 8, 13, 25, 33, 39
				60°	25, 30
				45°	8, 35, 70
100_000-1_000_000	Oui	0,2	1	180°	7, 8, 13, 25, 33, 39
				60°	25, 30
				45°	8, 35, 70
1_000_000-10_000_000	Non	0,02	0,1	-	
10_000_000-100_000_000	Non	0,002	0,01	-	
100_000_000-inf	Non	0,0002	0,001	-	
CW	Oui	-	-	-	

Problème rencontrer sur le tableau:

- Remarque:

Dans la génération aléatoire de pdw la di minimum est de 10ns
Ce qui nous impose une fs de minimum 200Mhz

F0 Radar : Loi en S

$$\beta = \tan^{-1}(\alpha), 0 \leq \alpha < \infty \quad (9)$$

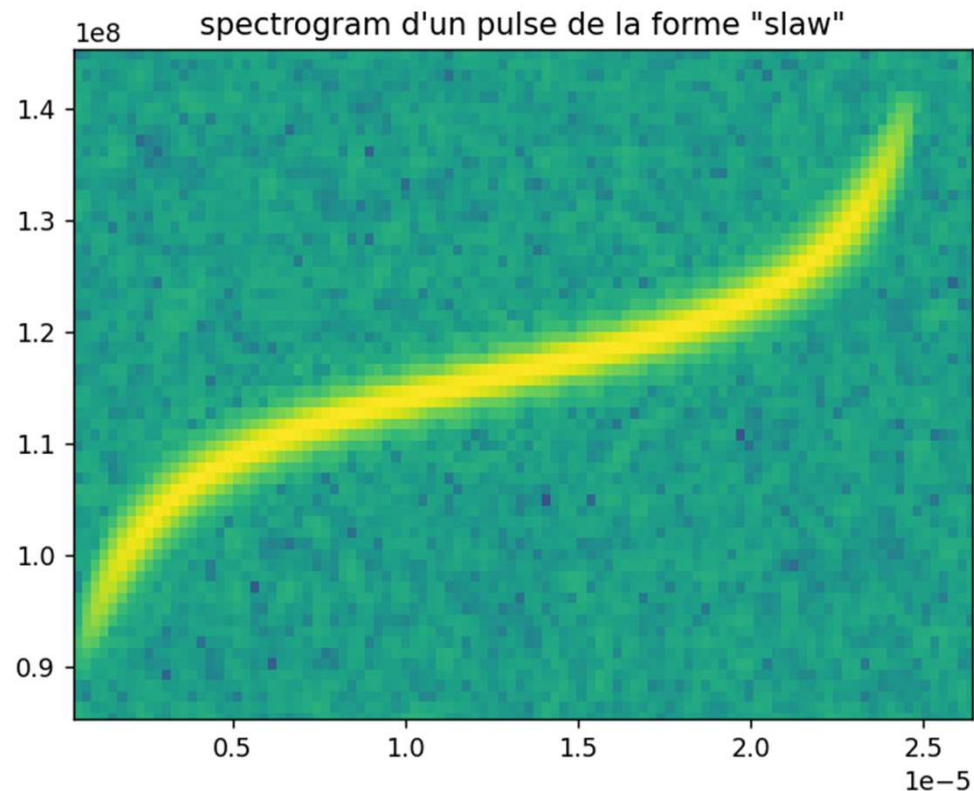
In (9), α is sidelobe control factor of NLFM S.

$$f(t)_S = f_c + B \left(\frac{\tan\left(\frac{2\beta t}{\tau}\right)}{2 \tan \beta} \right), -\frac{\tau}{2} \leq t \leq \frac{\tau}{2} \quad (10)$$

In (10), $f(t)_S$ is instantaneous frequency of NLFMS (Hz), τ is pulse duration (s), B is signal bandwidth (Hz), t is time duration (s) and f_c is frequency center (Hz).

$$\phi(t)_S = 2\pi \left(f_c t - \left(\frac{B\tau \log\left\{\cos\left(\frac{2\beta t}{\tau}\right)\right\}}{4\beta \tan(\beta)} \right) \right), -\frac{\tau}{2} \leq t \leq \frac{\tau}{2} \quad (11)$$

$$S(t)_S = \exp(j\phi(t)_S), -\frac{\tau}{2} \leq t \leq \frac{\tau}{2} \quad (12)$$

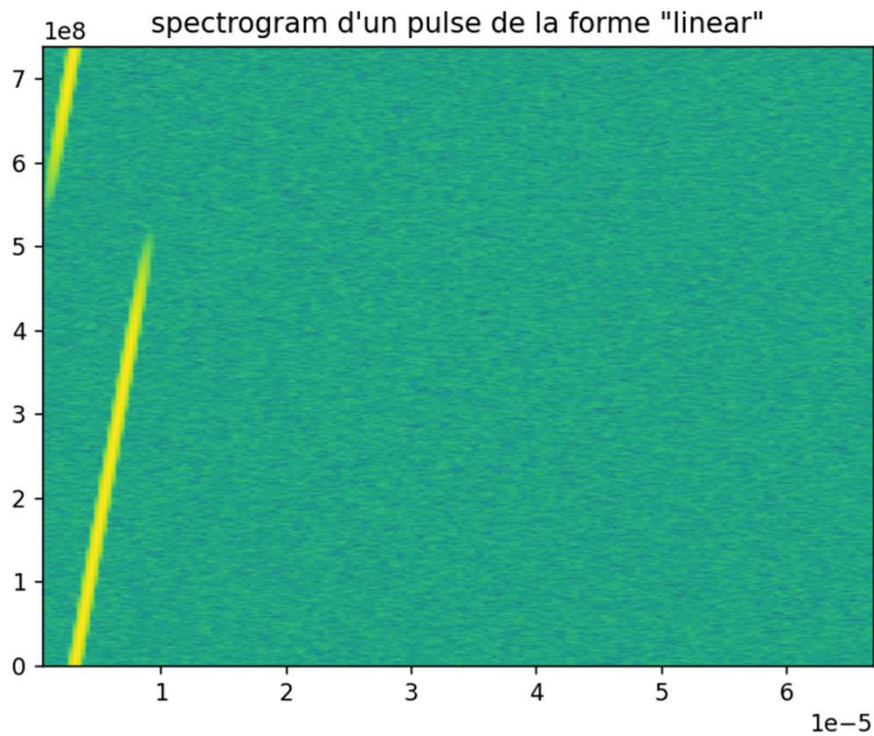


Exemple :
 $B=1\text{Ghz}$
 $F_c=115,5\text{Mhz}$
 $\Delta f = 61,33\text{Mhz}$
 $P_w=24\mu\text{s}$

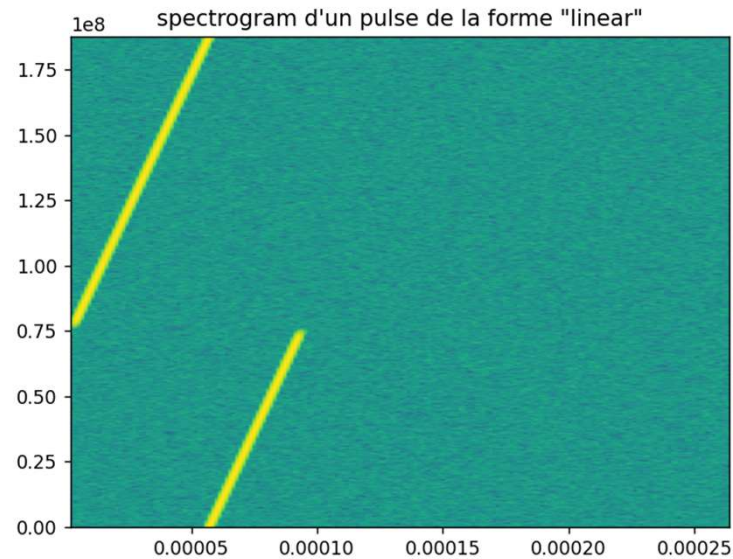
Source: <https://pdfs.semanticscholar.org/7962/04c109a91f4fa19535eaa101a563316ddeb1.pdf>

F0 Radar: Génération de pdw

Création d'une fonction pour la génération de pdw avant de créer l'impulsion.



Exemple :
Pw : $0,86 \cdot 10^{-5}$
fc : 161Mhz
 Δf : 740Mhz



Exemple :
Pw : $9,14 \cdot 10^{-5}$
fc : -18Mhz
 Δf : 187Mhz
(Fmin=-111,5Mh
Fmax=75,5Mhz)

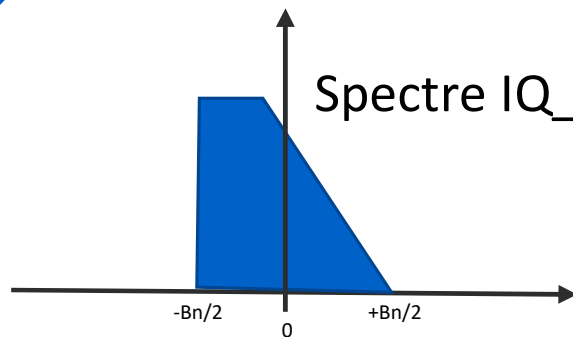
AVANTIX

Fusion des IQ

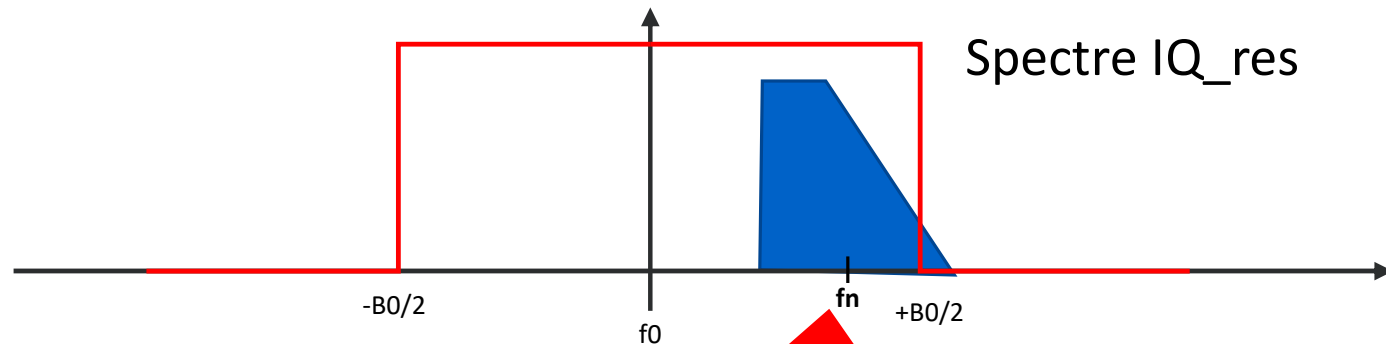
07/11/2023

© Avantix – for internal use

Problématique



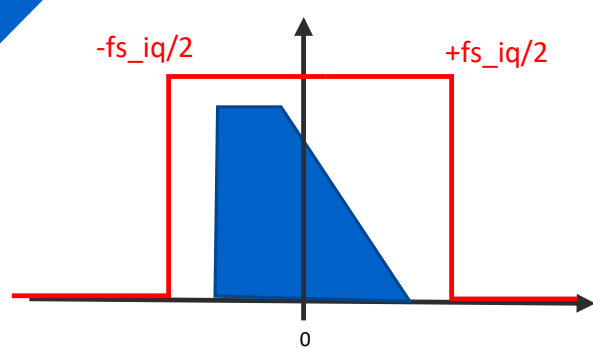
Signal IQ en bande de base de fréquence centrale **f_n** et de largeur de bande **B_n**



Fenêtre d'écoute de fréquence centrale **f_0** et de largeur de bande **B_0**

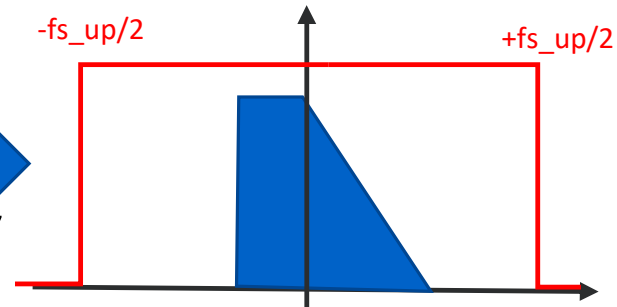
Comment générer à partir de la séquence IQ originale en bande de base le spectre IQ résultant dans la fenêtre d'écoute ?

Solution



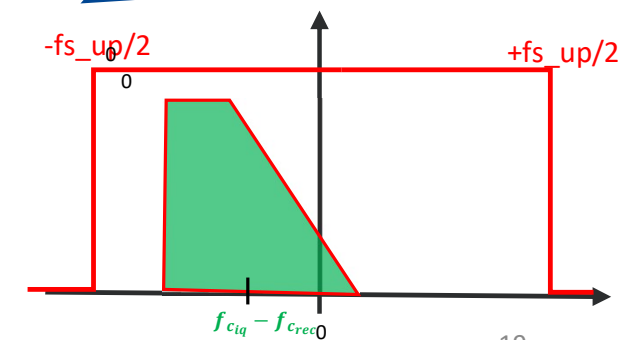
Signal IQ en bande de base de fréquence centrale f_{c_iq} et de largeur de bande f_{s_iq}

1: Upsampling
 $f_{s_iq} \rightarrow f_{s_up}'$

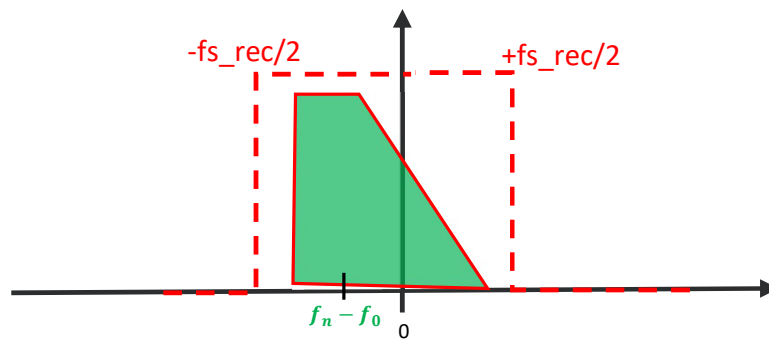


Avec $f_{up} = f_{s_iq} + 2 \cdot |f_{c_iq} - f_{c_rec}| + 25\%$

2: Translating
 $f_{c_iq} - f_{c_rec}$



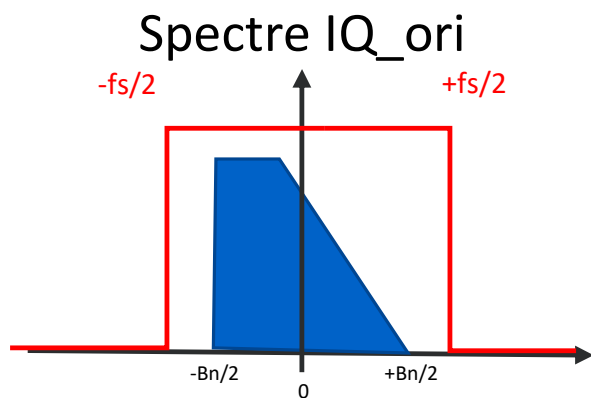
3: Resampling
 $f_{s_up} \rightarrow f_{s_rec}$



AVANTIX

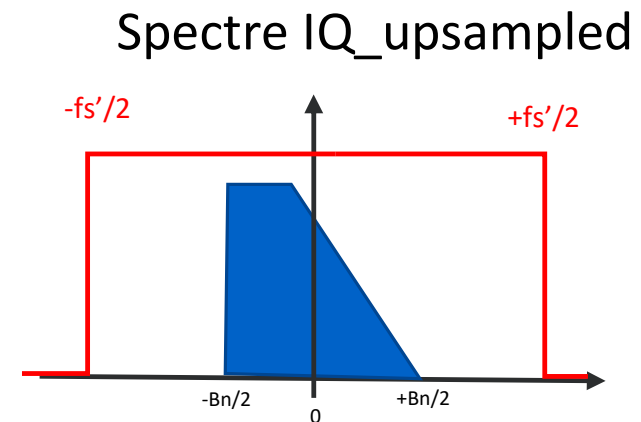
Etape 1 : Upsampling

Cette étape aura pour objectif d'augmenter la fréquence d'échantillonnage afin d'élargir la bande et pouvoir traduire (étape 2) le signal sans perte d'information. Cette translation est relative à la fréquence d'écoute f_0 .



Signal IQ en bande de base de fréquence centrale f_n et de largeur de bande B_n

Upsampling

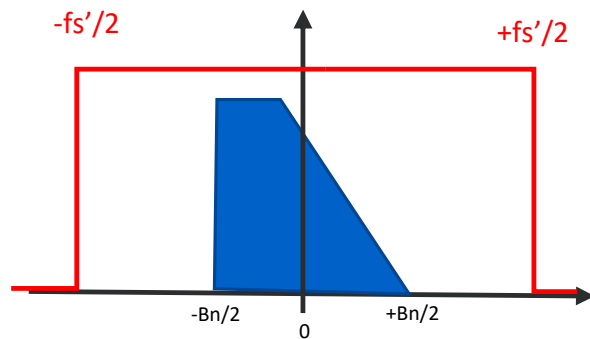


Avec $f s' = f s + 2. |f_0 - f_n| + \epsilon$

Etape 2 : Translation

Cette étape permet de traduire le spectre de $f_0 - f_n$. L'objectif est de traduire le signal de l'écart entre la fréquence centrale d'écoute et la fréquence centrale du signal sans perte d'information. Cela est garanti par l'étape 1.

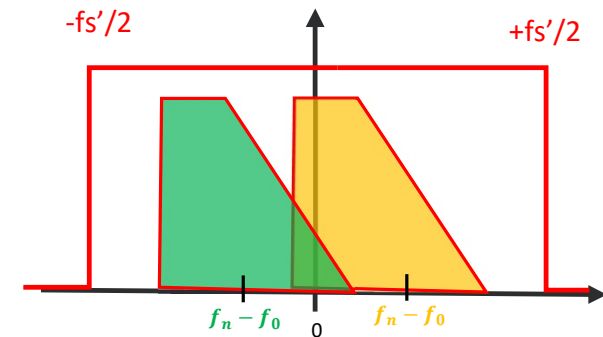
Spectre IQ_upsampled



Avec $fs' = fs + 2 \cdot |f_0 - f_n|$

Translation

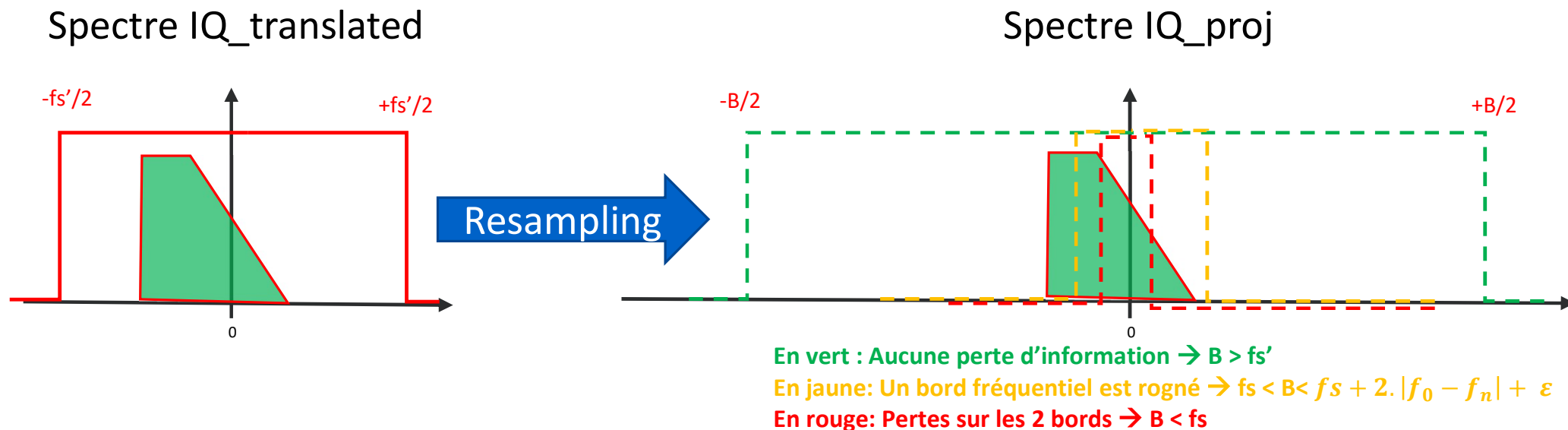
Spectre IQ_translated



En vert : $f_0 > f_n$
En jaune : $f_0 < f_n$

Etape 3 : Sample Rate Conversion

Cette dernière étape permet de rééchantillonner le signal IQ translaté dans la bande fréquentielle de base d'écoute. Cette étape est réalisée via *polyphase filtering* ce qui garantit un rééchantillonnage en 2 étapes sans risque de recouvrement.

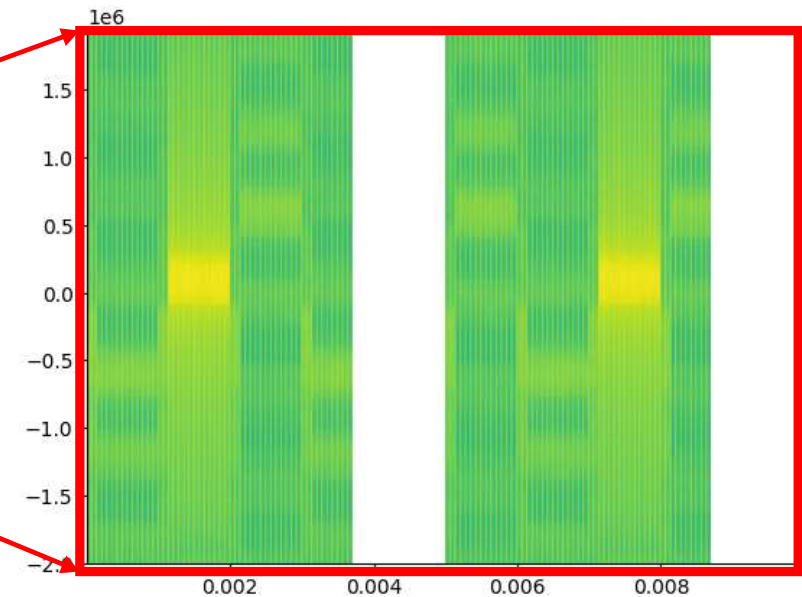
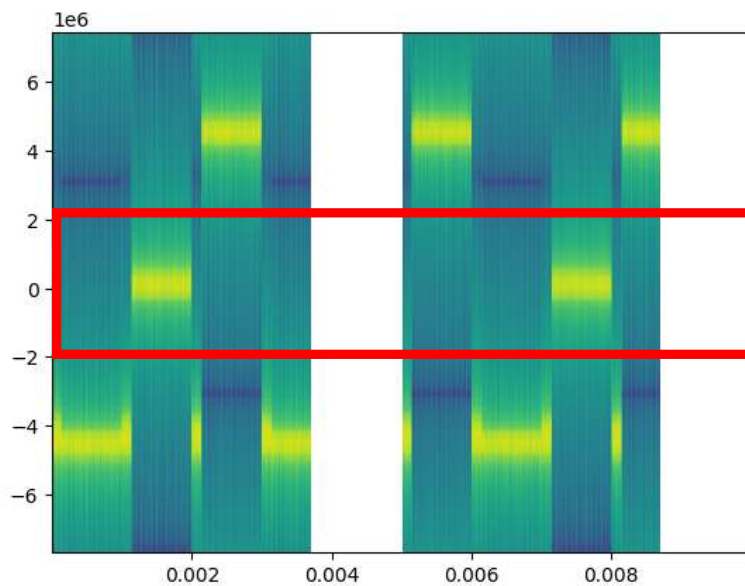


Etape 3 : Sample Rate Conversion

Polyphase filtering

$f_s = 15.36 \text{ MHz}$

$B = 4 \text{ MHz}$



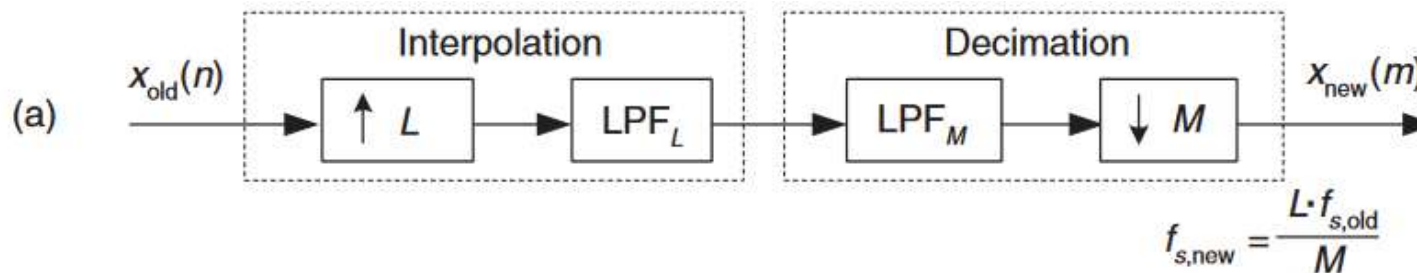
Etape 3 : Sample Rate Conversion

Afin de réaliser un **rééchantillonnage**, une solution est de la réaliser **en deux étapes** :

- **Interpolation** : Etape qui consiste à faire un suréchantillonnage suivi d'un filtrage passe-bas. On insère $L-1$ zéros entre chaque échantillon suivi d'un filtre passe-bas avec une fréquence de coupure égal à la fréquence d'échantillonnage de départ.
- **Décimation** : Etape qui consiste à réaliser un filtrage passe-bas suivi d'un sous-échantillonnage. On filtre à une fréquence de coupure égal à la fréquence d'échantillonnage cible puis on conserve 1 échantillon tous les M échantillons.

L et M sont choisis de telle sorte que $\frac{f_{s'}}{f_s} = \frac{L}{M}$

Une optimisation des traitements est réalisée pour éviter les multiplications et additions par zéros inutiles.



Etape 3 : Sample Rate Conversion

Contrainte pratique : $M < 100$ et $L < 100$

Sans la contrainte :

$$B = 4 \text{ MHz}, f_s = 15.36 \text{ MHz} \rightarrow L > 10^{15} \text{ et } M > 10^{16}$$

`MemoryError: Unable to allocate 2.50 EiB for an array with shape (360287970189639680,) and data type int64`

Avec la contrainte :

$$B = 4 \text{ MHz}, f_s = 15.36 \text{ MHz} \rightarrow L = 25 \text{ et } M = 96$$

AVANTIX

MERCI

AVANTIX.NET