

Rapport de laboratoire

Ecole supérieure
Électronique

Laboratoire MINF
Salle R110

TP3-GENSIG

Réalisé par :

Etienne De Oliveira
Matteo Stefanelli

A l'attention de :

Serge Castoldi
Philippe Bovey

Dates :

Début du laboratoire : 30 janvier 2025
Fin du laboratoire : 20 mars 2025

Table des matières :

TP3-GENSIG	1
1 Cahier des charges.....	5
2 Mesure des signaux A et B – PEC12	5
2.1 Schéma de mesure	5
2.1.1 Méthode de mesure.....	5
2.2 Résultats.....	5
3 Explication des caractéristiques des signaux	6
3.1 Formes	6
3.1.1 Sinus	6
3.1.2 Triangle.....	7
3.1.3 Dent de scie	7
3.1.4 Carré	8
3.2 Fréquences	8
3.3 Amplitude	9
3.4 Offset	9
4 Vérification des signaux.....	10
4.1 Schéma de mesure	10
4.1.1 Méthode de mesure.....	10
4.1.1.1 Conditions	10
4.2 Sinus.....	10
4.3 Triangle.....	11
4.4 Dent de scie.....	11
4.5 Carré.....	11
5 Signal triangulaire	11
5.1 Schéma de mesure – bus SPI et échantillons.....	12
5.1.1 Méthode de mesure.....	12
5.2 Résultat	12
6 Durée de traitement d'un échantillon	13
6.1 Schéma de mesure	13
6.1.1 Méthode de mesure.....	13
6.2 Résultat	14
7 Signal sinus seul.....	15
7.1 Représentation temporelle	15
7.2 Représentation fréquentielle	16
8 Code	17
9 Conclusion.....	17
10 Annexes.....	18
10.1 Timer.....	18
10.1.1 Timer 1	18
10.1.2 Timer 3	18
10.2 Mesure A-B PEC12	19
10.3 Mesure des signaux à 20 Hz	20
10.4 Mesure des signaux à 500 Hz	21
10.5 Mesure signaux triangulaire.....	22
10.6 Feuille de contrôle	23
10.7 Cahier des charges	23
10.8 Liste du matériel	23

1 Cahier des charges

Voir en *annexe 10.7, page 23*.

2 Mesure des signaux A et B – PEC12

En fonction du sens de rotation et de la vitesse de rotation du PEC12, il a été demandé d'observer d'éventuels rebonds sur les signaux.

2.1 Schéma de mesure

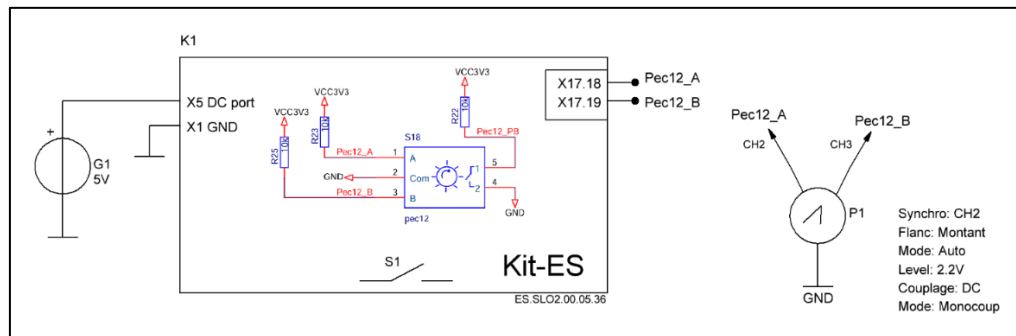


Schéma 1 - Mesure signaux A et B

2.1.1 Méthode de mesure

1. Alimenter la carte
2. Programmer la carte si cela n'est pas fait.
3. Brancher les sondes de l'oscilloscope, d'après le schéma.
4. Régler l'oscilloscope comme sur le schéma.
5. Appuyer sur le bouton reset S1
6. Tourner l'encodeur S18 dans les sens CW (horaire) et CCW (anti-horaire)
7. Une première fois lentement
8. Une seconde fois rapidement
9. Relever l'oscillogramme pour chacun des cas cités ci-dessus

La liste du matériel se trouve en *annexe 10.8, page 23*.

2.2 Résultats

Oscillogramme en *annexe 10.2, page 19*.

Selon le cahier des charges, page 5, les résultats attendus doivent correspondre à l'image ci-dessous :

Dans le sens horaire (CW) :	
A :	_____ _____ _____
B :	_____ _____ _____
Dans le sens anti-horaire (CCW) :	
A :	_____ _____ _____
B :	_____ _____ _____

Figure 1 - Oscillogramme codeur incrémentale

Le tableau d'analyse résume les différents états :

Sens	Vitesse de rotation	Analyse
Droite (CW)	Rotation lente	En relation avec ce qui a été fourni dans le cahier des charges, les signaux A et B correspondent bel et bien à une réponse à la rotation du PEC12 en sens horaire. Peu de rebonds (voire aucun) sont visibles et n'influencent en rien la compréhension du Uc quant aux signaux émis.
Gauche (CCW)	Rotation lente	En relation avec ce qui a été fourni dans le cahier des charges, les signaux A et B correspondent bel et bien à une réponse à la rotation du PEC12 en sens antihoraire. Peu de rebonds (voire aucun) sont visibles et n'influencent en rien la compréhension du Uc quant aux signaux émis.
Droite (CW)	Rotation rapide	Comme en rotation lente, peu de rebonds sont visibles. Il est possible de visualiser chacun des crans lors de la rotation du commutateur.
Gauche (CCW)	Rotation rapide	Comme en rotation lente, peu de rebonds sont visibles. Il est possible de visualiser chacun des crans lors de la rotation du commutateur.

Ces analyses permettent d'affirmer que les mesures effectuées correspondent à celles attendues (en concordance avec les signaux d'un codeur incrémental 2 bits) et présentent quelques rebonds en rotation rapide, explicables par les caractéristiques mécaniques dues à l'inertie de l'encodeur en rotation accélérée.

3 Explication des caractéristiques des signaux

3.1 Formes

3.1.1 Sinus

Nous avons d'abord généré un tableau de sinus sur 100 points.

Pour calculer la valeur d'un échantillon du signal sinus :

1. Diviser 360° par 100 (le nombre de valeur souhaité)
2. Convertir cet angle de degré en radians $Angle [rad] = \frac{(Angle[^\circ] \cdot \pi)}{180}$
3. Faire $\sin (Angle [rad])$

Ces calculs ont été effectués dans un tableau Excel (disponible si besoin sur demande).

Ensuite il suffit de multiplier cette valeur par l'amplitude sur 2 pour adapter l'échelle. Pour finir il faut encore additionner l'offset et la moyenne de l'amplitude. La moyenne de l'amplitude sert de base autour de laquelle le signal va osciller.

Exemple du calcul en C :

```
valBrute = MOITIE_AMPLITUDE + offset + tableauSinus[nbEchantillon] * amplitude / DEUX;
```

MOITIE_AMPLITUDE : C'est la valeur de base autour de laquelle le signal oscille.

offset : C'est un décalage qui peut être appliqué au signal pour le déplacer vers le haut ou vers le bas.

tableauSinus[nbEchantillon] : C'est la valeur du sinus normalisée (entre -1 et 1) pour l'échantillon courant.

amplitude / DEUX : L'amplitude est divisée par 2 pour ajuster l'échelle du signal.

3.1.2 Triangle

La génération d'un signal triangulaire repose sur l'évolution de la variable nbEchantillon, qui contrôle l'évolution du signal. Celui-ci est divisé en deux phases afin d'obtenir une forme symétrique sur 100 échantillons :

Première moitié : Pour les échantillons dans la première moitié du cycle (0 à MAX_ECH/2), la valeur augmente linéairement.

Deuxième moitié : Pour les échantillons dans la seconde moitié (MAX_ECH/2 à MAX_ECH), la valeur diminue linéairement.

Pour assurer une transition fluide entre la montée et la descente, nous soustrayons 25 à nbEchantillon. Cela recentre le signal et garantit une variation régulière. Ensuite, nous multiplions par 2 afin que la montée et la descente se fassent deux fois plus vite que pour un signal en dent de scie.

Dans le cas de la descente du signal nous soustrayons 100 au calcul de l'ajustement de la pente.

Pour finir il faut encore additionner l'offset et la moyenne de l'amplitude. La moyenne de l'amplitude sert de base autour de laquelle le signal va osciller.

```
if ((MAX_ECH / DEUX) > nbEchantillon) {  
    valBrute = MOITIE_AMPLITUDE + offset + (amplitude_en_mV * (DEUX * (nbEchantillon - QUART_ECH)));  
} else {  
    valBrute = MOITIE_AMPLITUDE + offset + (amplitude_en_mV * (MAX_ECH - DEUX * (nbEchantillon - QUART_ECH)));  
}
```

amplitude_en_mV : C'est l'amplitude convertie en millivolts, utilisée pour ajuster la pente du triangle.

3.1.3 Dent de scie

Pour générer un signal en dent de scie, nous utilisons la variable nbEchantillon, qui démarre à 0 et s'incrémente jusqu'à 99. Cette progression permet de créer une pente linéaire croissante, où chaque échantillon prend une valeur de plus en plus grande jusqu'à atteindre la valeur maximale souhaitée.

Le signal est donc linéairement croissant, ce qui signifie que chaque valeur est calculée en fonction de son index dans la boucle, sans inversion de pente. Ensuite, cette valeur est multipliée par l'amplitude définie par l'utilisateur et ajustée avec l'offset ainsi que la moitié de l'amplitude maximale.

```
valBrute = MOITIE_AMPLITUDE + (offset + ((nbEchantillon - MOITIE_ECH) * amplitude_en_mV));
```

La valeur augmente linéairement de 0 à MAX_ECH, avec un décalage basé sur l'offset.

nbEchantillon - MOITIE_ECH : Cela permet de commencer à partir de la moitié de l'échelle, ce qui signifie que le signal commence à 0 et monte jusqu'à l'amplitude maximale.

3.1.4 Carré

Pour générer un signal carré, nous divisons les 100 échantillons en deux groupes :

- Les 50 premiers échantillons correspondent à l'état haut.
- Les 50 suivants correspondent à l'état bas.

L'état du signal est déterminé par la variable nbEchantillon, qui évolue de 0 à 99 dans la boucle.

```
if ((MAX_ECH / DEUX) > nbEchantillon) {  
    valBrute = MOITIE_AMPLITUDE + offset + amplitude;  
} else {  
    valBrute = MOITIE_AMPLITUDE + offset - amplitude;  
}
```

Pour finir il faut encore additionner l'offset et la moyenne de l'amplitude. La moyenne de l'amplitude sert de base autour de laquelle le signal va osciller.

3.2 Fréquences

Le Timer 3 est utilisé pour générer des interruptions périodiques afin de définir la fréquence du signal de sortie. Son fonctionnement repose sur une horloge de base et un prescaler configuré à 1, ce qui signifie que le timer tourne directement à la fréquence du microcontrôleur :

$$F_{\text{CPU}} = 80\,000\,000 \text{ Hz}$$

La valeur de compteurTimer3 doit être calculée de manière que le timer génère des interruptions en fonction de la fréquence demandée. Pour cela, nous utilisons la constante :

$$\text{TRANSFORMATION_VALEUR_TIMER3} = 800000$$

Ce facteur a été choisi pour simplifier le calcul de la période en utilisant des unités de 1 μs au lieu de cycles d'horloge. En effet, à 80 MHz, un cycle d'horloge dure :

$$T_{\text{horloge}} = \frac{1}{80\,000\,000} = 12.5 \text{ ns}$$

En fixant :

$$\text{TRANSFORMATION_VALEUR_TIMER3} = 800000$$

On travaille avec des pas de 100 cycles d'horloge, ce qui équivaut à 1 μs par unité de compteurTimer3. Ainsi, la valeur du timer est déterminée par la relation :

$$\text{compteurTimer3} = \frac{800000}{F_{\text{signal}}}$$

Cela permet d'exprimer directement la période en fonction de la fréquence souhaitée sans avoir à manipuler de très grands nombres

3.3 Amplitude

L'amplitude est exprimée en mV dans la structure `S_ParamGen`, une division par 100 est appliquée pour garantir le bon fonctionnement des signaux en dent de scie et en triangle. Sans cette conversion, la pente du signal serait trop raide, entraînant une variation excessive entre les échantillons.

Le signal en dent de scie est défini par une augmentation linéaire de l'amplitude à chaque échantillon. La pente de cette montée est directement proportionnelle à l'amplitude :

Puisque l'amplitude est exprimée en mV, la multiplication par `nbEchantillon` produit une croissance trop importante du signal. En divisant par 100, on ajuste cette pente pour qu'elle corresponde à l'échelle attendue par le système, assurant ainsi une variation fluide et correcte du signal.

Cependant, cette conversion n'est pas requise pour les signaux sinusoïdal et carré, car leur génération repose sur des principes différents.

3.4 Offset

L'inversion et la division par 2 de l'offset sont nécessaires pour garantir que le signal soit correctement centré autour de la valeur souhaitée, quel que soit son type (sinusoïdal, triangulaire, carré, dent de scie).

L'inversion (`INVERSION`) est appliquée pour changer le sens de l'offset.

Un offset positif est censé décaler le signal vers le haut.

Toutefois, selon l'implémentation matérielle (DAC, amplification, etc.), l'offset peut produire l'effet inverse.

L'inversion permet alors de compenser cet effet et d'assurer que le décalage appliqué soit conforme à l'attendu.

Division par 2 de l'offset

L'offset est divisé par 2 pour éviter un doublement de son effet sur le signal.

L'offset agit sur les valeurs maximales et minimales du signal.

Sans division par 2, un offset de 2000 mV entraînerait un déplacement de +2000 mV en haut et - 2000 mV en bas, soit un décalage total de 4000 mV.

La division par 2 permet d'assurer un déplacement uniforme sans exagérer l'effet de l'offset.

4 Vérification des signaux

Afin de vérifier la justesse des signaux aux fréquences demandées (20 Hz et 500 Hz), des tableaux de validation recensent l'intégralité des éléments observés à l'oscilloscope. Chaque oscillogramme se trouvent en *annexe 10.3, page 20 et 21*.

4.1 Schéma de mesure

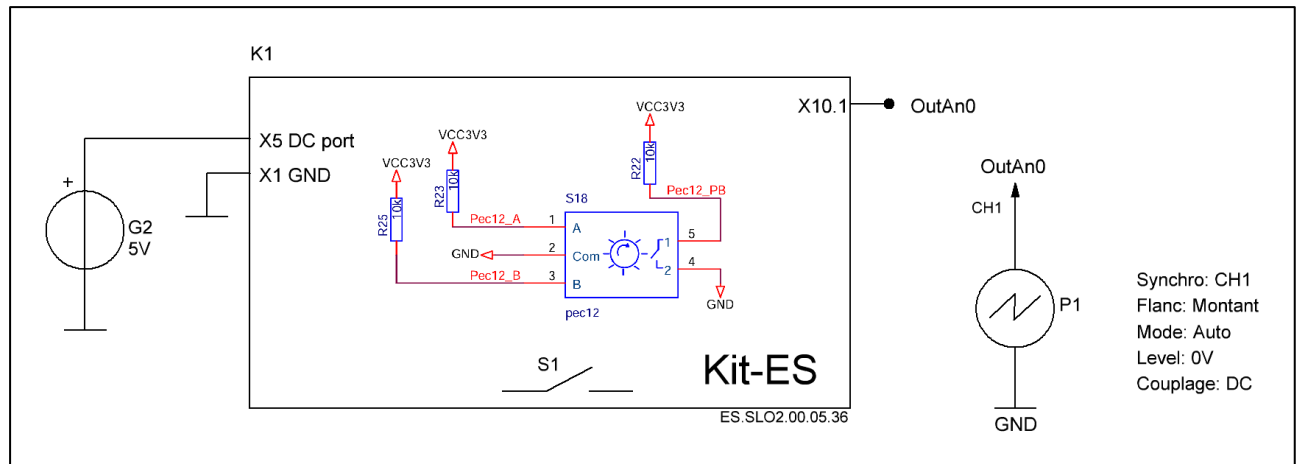


Schéma 2 - Vérifications des signaux

4.1.1 Méthode de mesure

1. Alimenter la carte
2. Programmer la carte si cela n'est pas fait.
3. Brancher les sondes de l'oscilloscope, d'après le schéma.
4. Régler l'oscilloscope comme sur le schéma.
5. Appuyer sur le bouton reset S1
6. Régler à l'aide de S18 les réglages indiqués dans le CDC page 9 point 3, des mesures.
 - a. A 20 Hz pour toutes les formes
 - b. A 500 Hz pour toutes les formes
7. Relever l'oscillogramme pour chacun des cas cités ci-dessus

La liste du matériel se trouve en *annexe 10.8, page 23*.

4.1.1.1 Conditions

Forme	Fréquence	Amplitude	Offset
Selon le cas	20 Hz	10'000 mV	0
	500 Hz	Maximal	

4.2 Sinus

Fréquence de consigne [Hz]	Forme de consignes	Fréquence mesurée [Hz]	Forme visualisée	Validation [OK/KO]
20	Sinus	19.9993	Sinus	OK
500	Sinus	500	Sinus	OK

4.3 Triangle

Fréquence de consigne [Hz]	Forme de consignes	Fréquence mesurée [Hz]	Forme visualisée	Validation [OK/KO]
20	Triangle	19.9998	Triangle	OK
500	Triangle	500	Triangle	OK

4.4 Dent de scie

Fréquence de consigne [Hz]	Forme de consignes	Fréquence mesurée [Hz]	Forme visualisée	Validation [OK/KO]
20	Dent de scie	19.9991	Dent de scie	OK
500	Dent de scie	500	Dent de scie	OK

4.5 Carré

Fréquence de consigne [Hz]	Forme de consignes	Fréquence mesurée [Hz]	Forme visualisée	Validation [OK/KO]
20	Carré	19.9993	Carré	OK
500	Carré	500	Carré	OK

5 Signal triangulaire

Il est demandé d'effectuer certaines mesures quant au signal triangulaire. Il a été nécessaire de vérifier en priorité les amplitudes maximales et minimales en y ajoutant un offset (voir image ci-dessous). Ainsi, il a été possible de contrôler l'écrtage des signaux.

Schéma de mesure et protocole de mesures identiques aux points de validation des formes de signaux, voir point 4.1. Oscillogrammes en *annexe 10.5, page 22*.

Extrait de la fiche de contrôle :

CONTROLE AMPLITUDE ET OFFSET				
Fréquence 100 Hz, triangle.				
Amplitude [mV]	offset [mV]	Vmax [V] ?	Vmin [V] ?	Ecrêtage correct ?
5000	0	5.22 VDC	- 5.14 VDC	
10000	0	10.3 VDC	-10.3 VDC	
8000	4000	10.22 VDC	-4.14 VDC	OK
10000	-5000	5.22 VDC	10.22 VDC	OK

Figure 2 - Résultats des mesures de signaux triangulaire

Cette analyse permet d'affirmer qu'en consignait un signal de forme triangulaire avec plus ou moins d'amplitude et d'offset, celui-ci réagit de manière correcte et valide donc les attentes.

5.1 Schéma de mesure – bus SPI et échantillons

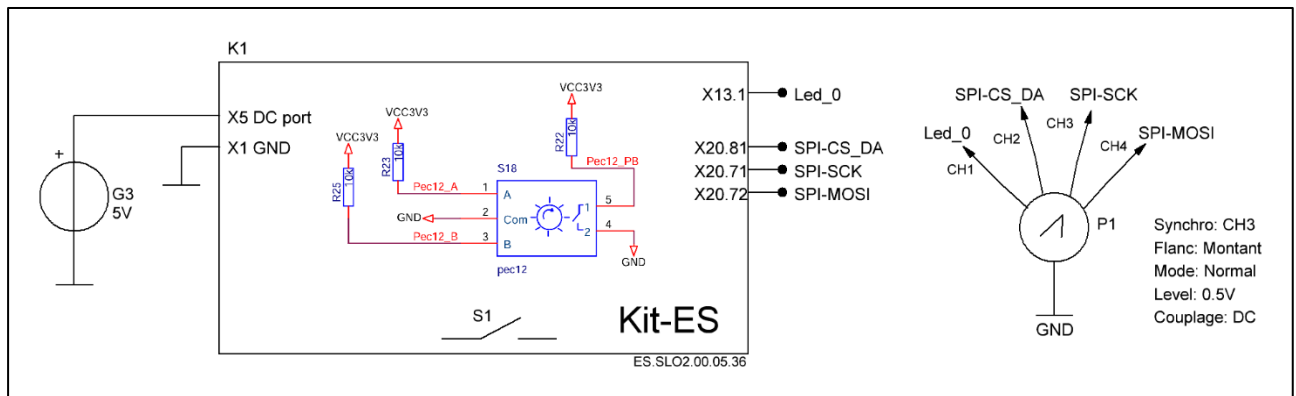


Schéma 3 - Mesure SPI et durée d'échantillons

5.1.1 Méthode de mesure

1. Alimenter la carte
2. Programmer la carte si cela n'est pas fait.
3. Brancher les sondes de l'oscilloscope, d'après le schéma.
4. Régler l'oscilloscope comme sur le schéma.
5. Appuyer sur le bouton reset S1
6. Régler à l'aide de S18 les réglages indiqués dans le CDC page 9 point 5, des mesures.
7. Paramétrer l'oscilloscope de manière à décoder les données transitant sur le bus SPI.
8. Relever l'oscillogramme.

La liste du matériel se trouve en *annexe 10.8, page 23*.

5.2 Résultat

Nous avons tenté de réaliser la mesure pour décoder le SPI avec l'oscilloscope, mais malgré nos efforts, les résultats obtenus n'ont pas été satisfaisants. La qualité du signal n'a pas permis une analyse précise. C'est pourquoi nous avons décidé de ne rien inclure plutôt que de risquer de fournir des informations incorrectes.

6 Durée de traitement d'un échantillon

6.1 Schéma de mesure

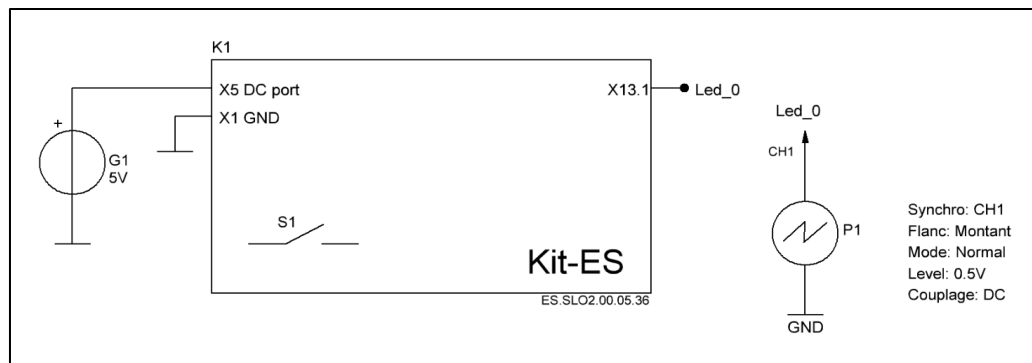


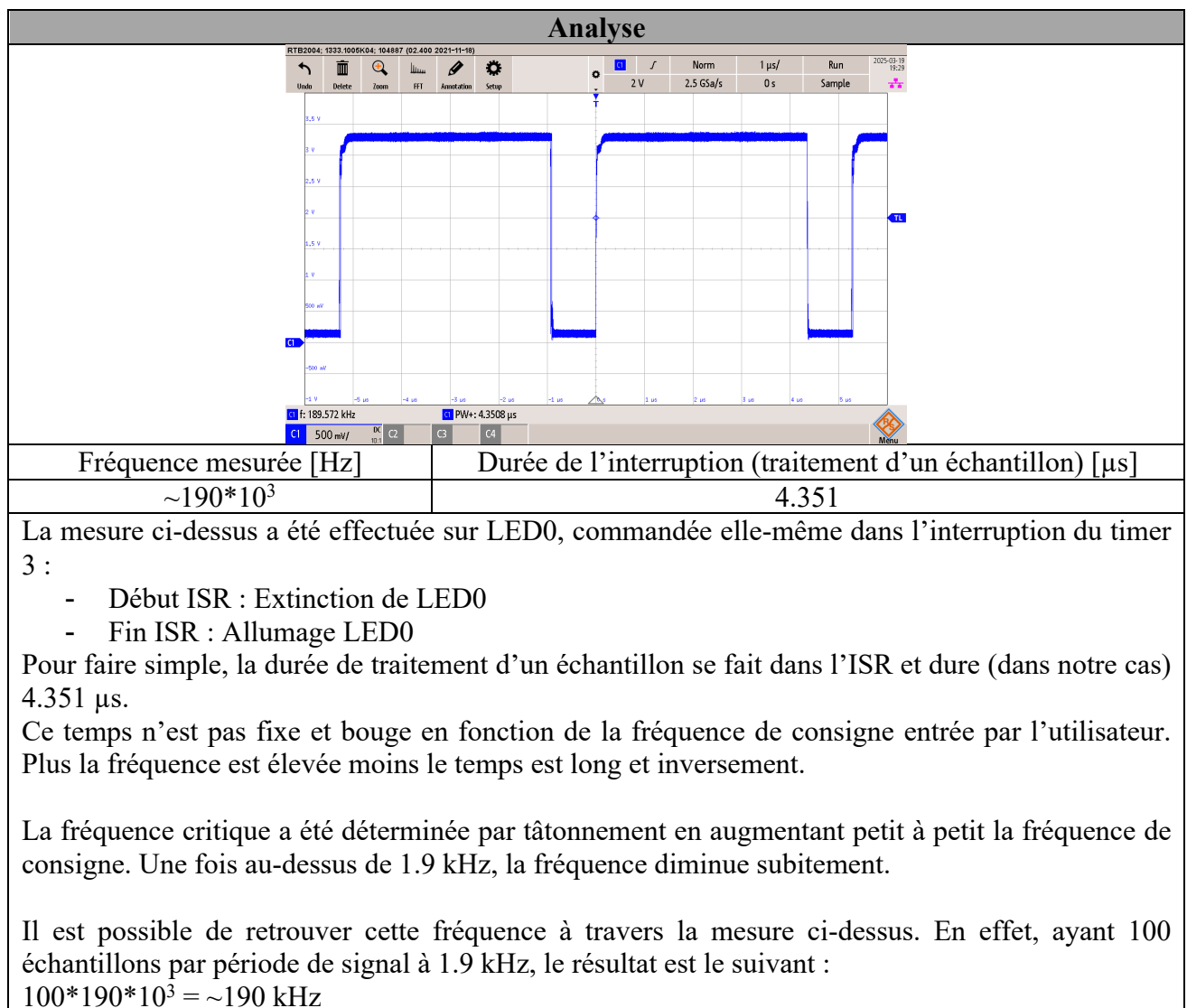
Schéma 4 - Mesure de temps de traitement d'échantillon

6.1.1 Méthode de mesure

1. Alimenter la carte
2. Programmer la carte si cela n'est pas fait.
3. Brancher les sondes de l'oscilloscope, d'après le schéma.
4. Régler l'oscilloscope comme sur le schéma.
5. Appuyer sur le bouton reset S1
6. Observer les oscillogrammes sur l'oscilloscope en vérifiant si une dérive de la fréquence survient
7. Relever l'oscillogramme.

La liste du matériel se trouve en *annexe 10.8, page 23*.

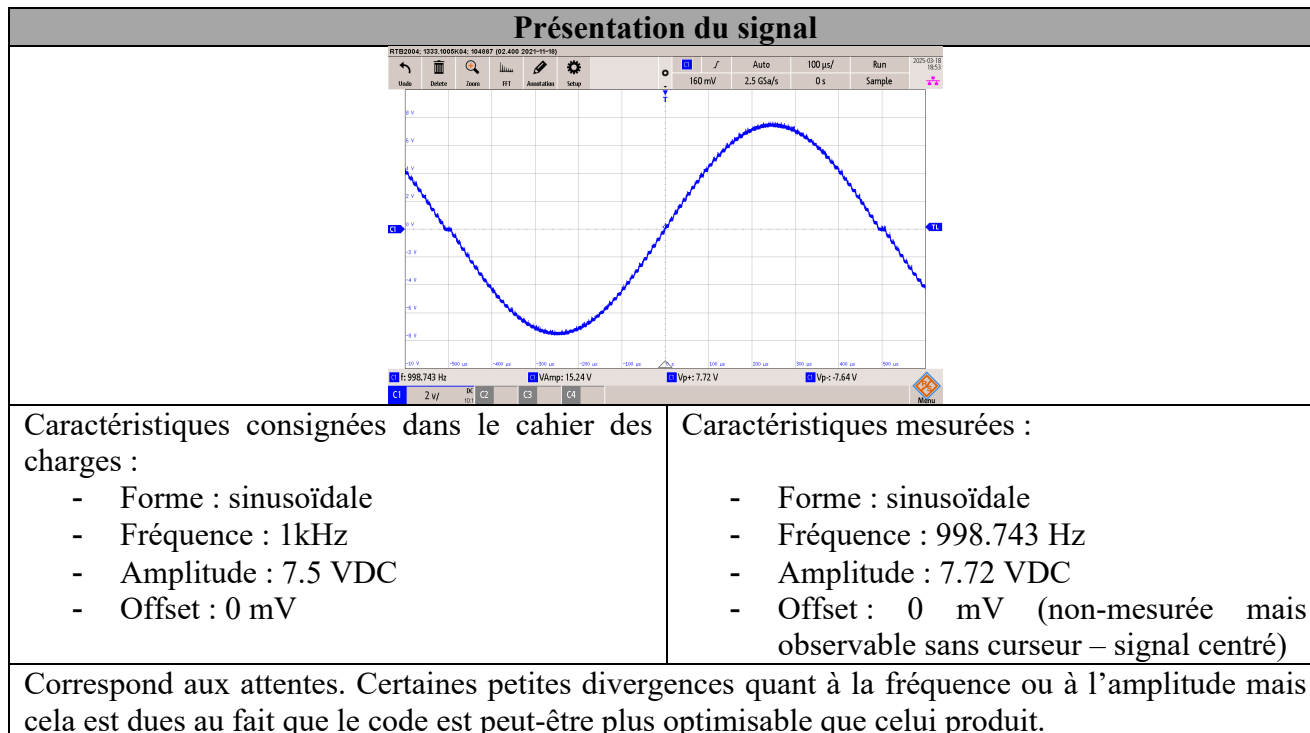
6.2 Résultat



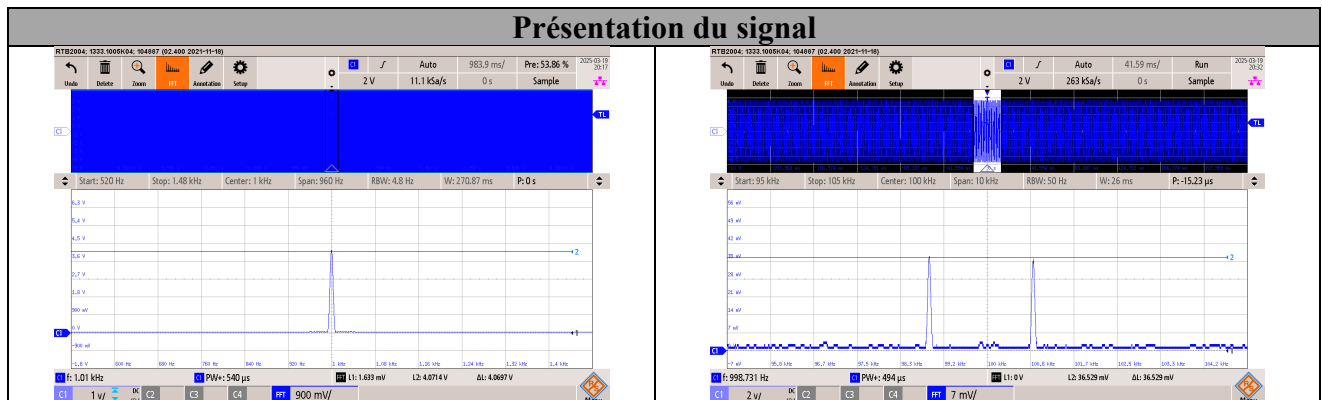
7 Signal sinus seul

Se refermer au schéma de mesure et protocole de mesure du *point 4.1, page 10*.

7.1 Représentation temporelle



7.2 Représentation fréquentielle



Caractéristiques consignées dans le cahier des charges :

- Forme : sinusoïdale
- Fréquence : 1kHz
- Amplitude : 7.5 VDC
- Offset : 0 mV

Fréquence : 1.01kHz
 Grande Amplitude RMS : 5.273 VDC
 Amplitude max : $V_{RMS} * \sqrt{2} = 5.273 * \sqrt{2} = 7.46 \text{ VDC}$

Fréquence : 998.731kHz
 Petite Amplitude RMS : 36.529 mVDC
 Amplitude max : $V_{RMS} * \sqrt{2} = 36.529 * 10^{-3} * \sqrt{2} = 51.659 \text{ mVDC}$

Ces valeurs correspondent aux inconnues de l'équation présente dans le cahier des charges :

$$TDR = \frac{A_{\text{harmoniques+bruit}}}{A_1} = \frac{\sqrt{A_{\text{tot}}^2 - A_1^2}}{A_1}$$

$$\approx \frac{A_{\text{bruit},1}}{A_1}$$

A_1 : amplitude RMS de la fondamentale
 A_{tot} : amplitude RMS totale du signal
 $A_{\text{bruit},1}$: amplitude RMS de la 1^{ère} raie du bruit

A_{bruit} : Petite Amplitude RMS : 36.529 mVDC

A_1 : Grande Amplitude RMS : 5.273 VDC

$$TDR = \frac{A_{\text{BRUIT}}}{A_1} = \frac{36.529 * 10^{-3}}{5.273} = 0.006928 = 0.69\%$$

TDR : Rapport total de distorsion (qualité du sinus).

Le bruit est la FFT de faible amplitude, ce dernier se situe a 100kHz avec une amplitude RMS de 36.529mVDC.

Il est demandé de déterminé la fréquence se trouvant au bruit (fréquence d'échantillonnage). Cette fréquence est de 100kHz (visible entre les deux bandes latérales de la fréquence d'échantillonnage).

Il parait logique d'avoir 100kHz. La fréquence du sinus est de 1kHz et est composée de 100 échantillons, ce qui donne le calcul suivant : $F_{\text{Ech}} = F_{\text{signal}} * \text{nb.echantillons} = 10^3 * 100 = 100\text{kHz}$

Par ces faits, l'affirmation suivantes se révèlent correcte : « plus le nombre d'échantillons (ou fréquence d'échantillonnage) est élevée, plus le TDR sera faible. Le sinus sera alors plus propre »

Le sinus mesuré, ayant un TDR de moins de 1% est de très bonne qualité !

8 Code

Le code complet se trouve sur GitHub :

https://github.com/etideoliveira/MINF_SLO2_TP/tree/main/TP3/TP3/firmware/src

9 Conclusion

Ce projet avait pour but de mettre en place un générateur de signal piloté via un menu, en utilisant un encodeur incrémental PEC12 pour la navigation.

Dans un premier temps, la mise en place du menu de gestion a été réalisée. L'affichage sur l'écran LCD fonctionne correctement et la navigation entre les différentes caractéristiques de signaux est fluide. Les rotations horaire et anti-horaire, ainsi que la touche OK de validation via le PEC12, sont fonctionnelles. L'implémentation de l'inactivité (extinction du rétroéclairage après 5 secondes) a été validée.

Ensuite, la génération des signaux a été mise en place. Les formes sinusoïdale, triangulaire, dent de scie et carrée ont été générées et validées à l'oscilloscope. Les fréquences de consigne pour le contrôle du générateur (20 Hz et 500 Hz) ont été respectées avec une très faible marge d'erreur. La gestion de l'amplitude et de l'offset a été correctement implémentée.

En ce qui concerne la sauvegarde, elle ne suit pas à la lettre le cahier des charges, car ce dernier est trop brouillon et donc incompréhensible. La fonction de sauvegarde a donc été ajoutée au programme selon nos critères (appui long de plus de 2 secondes \Rightarrow "sauvegarde OK" et retour au menu principal, appui court de moins de 2 secondes \Rightarrow rien ne se passe, action sur S9 \Rightarrow rétroéclairage s'active).


La partie analyse a démontré le bon fonctionnement général du système, malgré la dérive en fréquence à partir de 1.9 kHz. Avec un sinus à 1 kHz, nous avons également pu observer les différentes fréquences composant ce signal (fréquence d'échantillonnage et fréquence de consigne) à l'aide du domaine temporel et également fréquentiel (FFT).

En conclusion, les objectifs principaux du projet ont été atteints. Le système fonctionne correctement et permet de générer et de paramétrer des signaux de manière fiable. Quelques optimisations pourraient être envisagées pour améliorer la précision et la robustesse du système, notamment au niveau de l'optimisation du code.

Nous souhaitons encore une fois insister sur le fait que les demandes des cahiers des charges ne sont pas adaptables aux temps dédiés à la réalisation de ce genre de travaux. Lorsqu'une quantité de tâches importantes sont fournies, il n'est pas possible d'optimiser le temps (en incluant également le temps sur la **vie privée**). Le travail se termine de manière bâclée et n'est pas forcément **compris** tout en abaissant de manière significative la motivation quant à la réalisation de ce genre d'expérimentation.

Lausanne, 19 mars 2025

Signature :



10 Annexes

10.1 Timer

10.1.1 Timer 1

Période demandée de 1ms.

Nous avons réglé le prescaler à 256.

Interruption de niveau 3. (Demandé CDC voir 10.7)

Formule pour Timer period :

$$TimerPeriod = \left(\frac{t \cdot f_{\mu C}}{prescaler} \right) - 1 = \left(\frac{1 \cdot 10^{-3} \cdot 80 \cdot 10^6}{256} \right) - 1 = 311$$

Réglage dans Harmony :

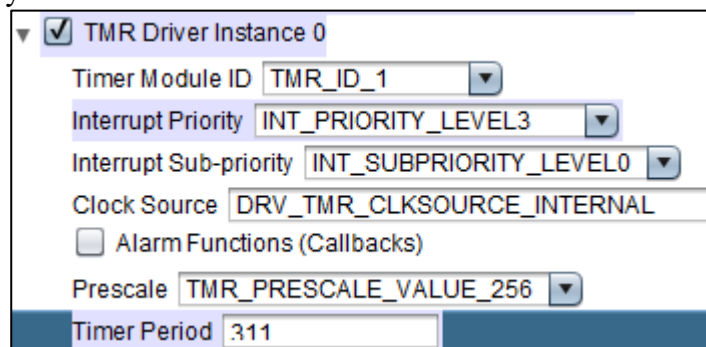


Figure 3 Réglage Harmony Timer1

10.1.2 Timer 3

Période demandée de 100µs.

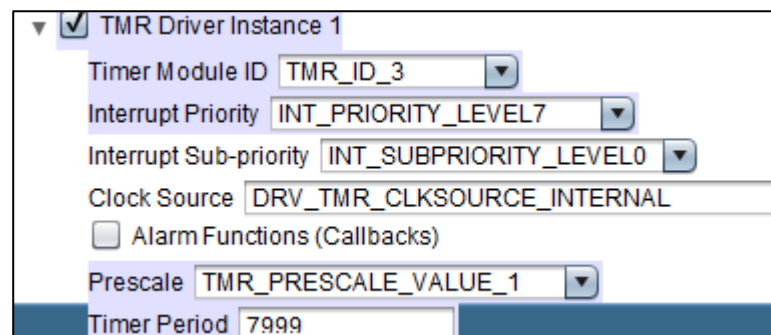
J'ai réglé le prescaler à 1.

Interruption de niveau 7. (Demandé CDC voir 10.7)

Formule pour Timer period :

$$TimerPeriod = \left(\frac{t \cdot f_{\mu C}}{prescaler} \right) - 1 = \left(\frac{100 \cdot 10^{-6} \cdot 80 \cdot 10^6}{1} \right) - 1 = 7'999$$

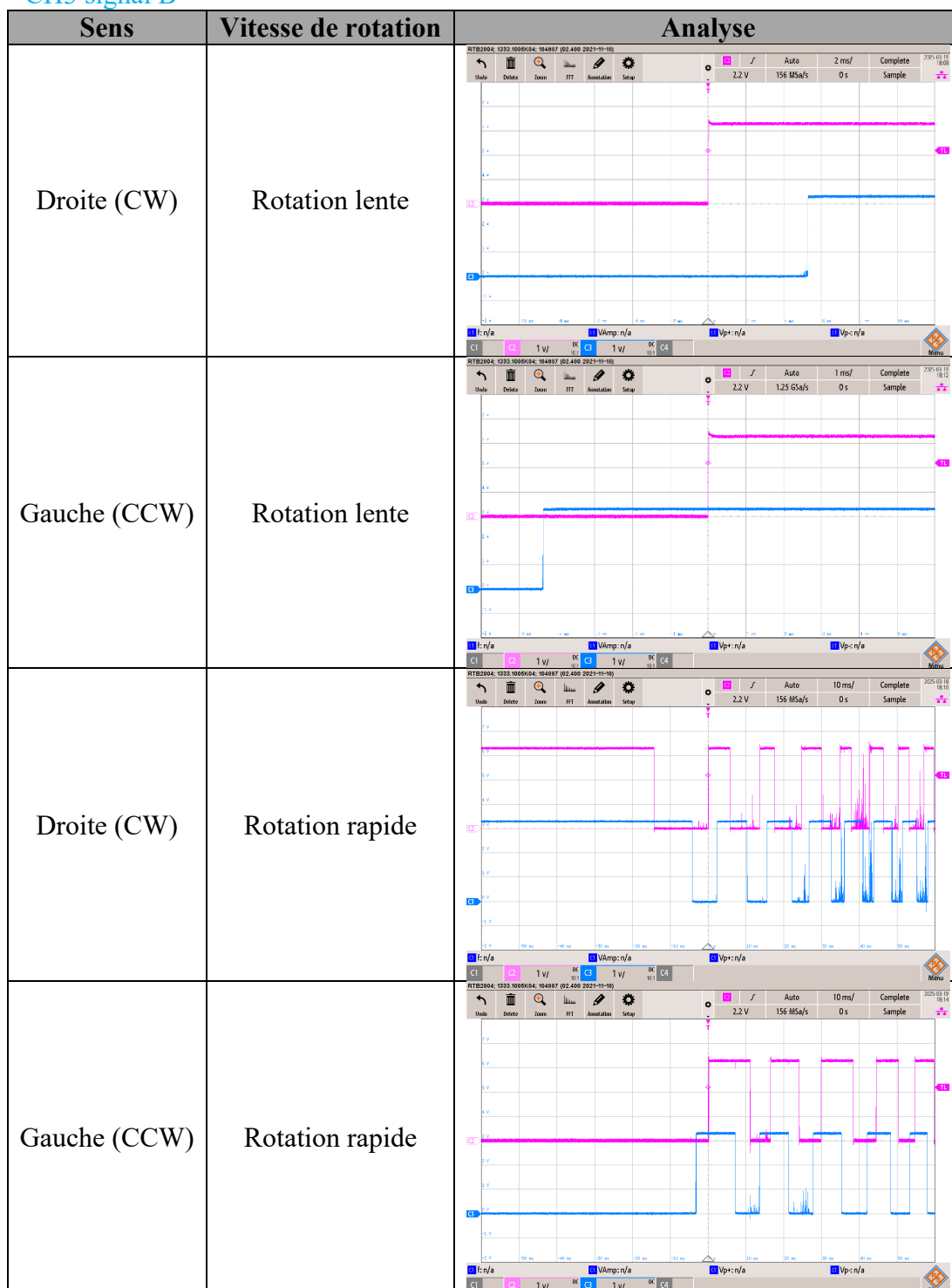
Réglage dans Harmony :



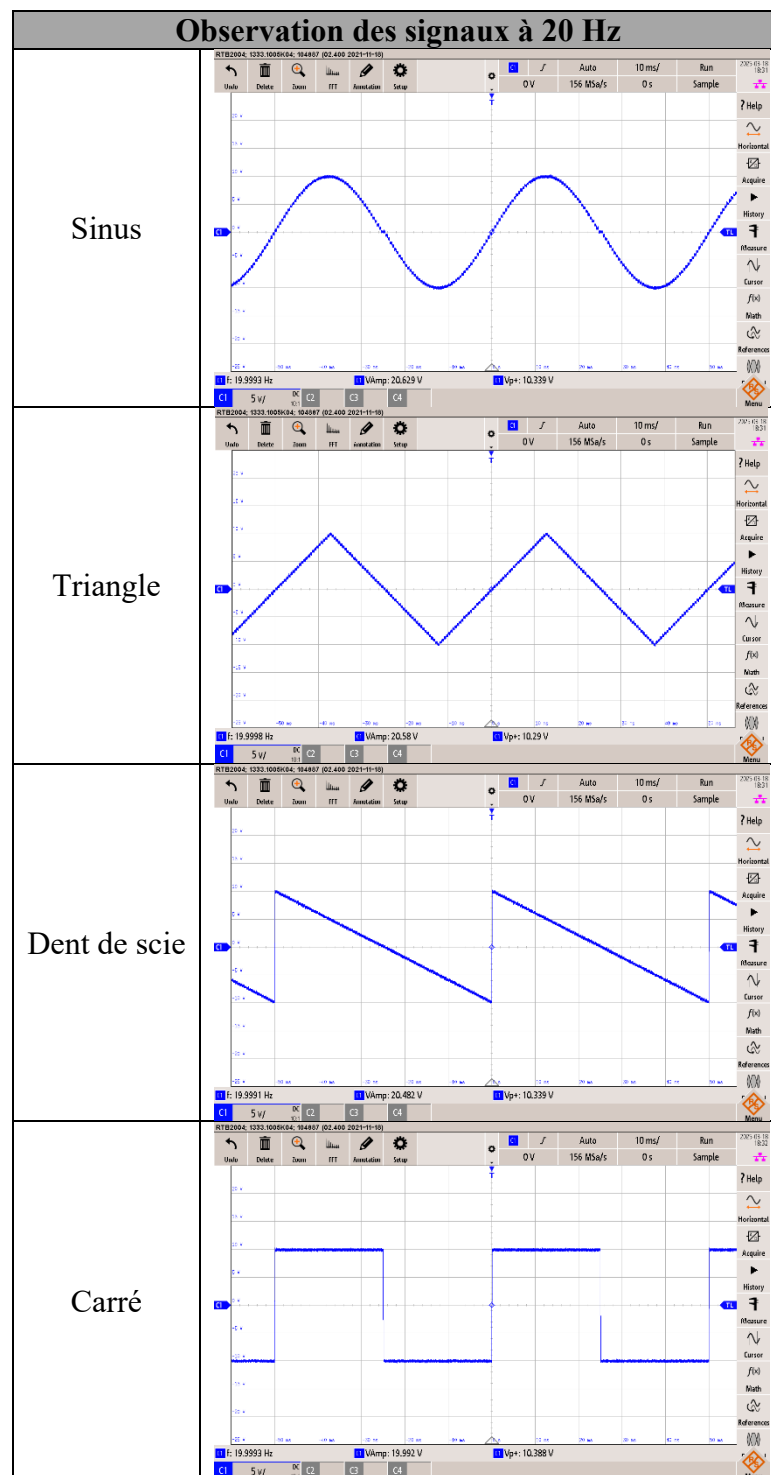
10.2 Mesure A-B PEC12

CH2 signal A

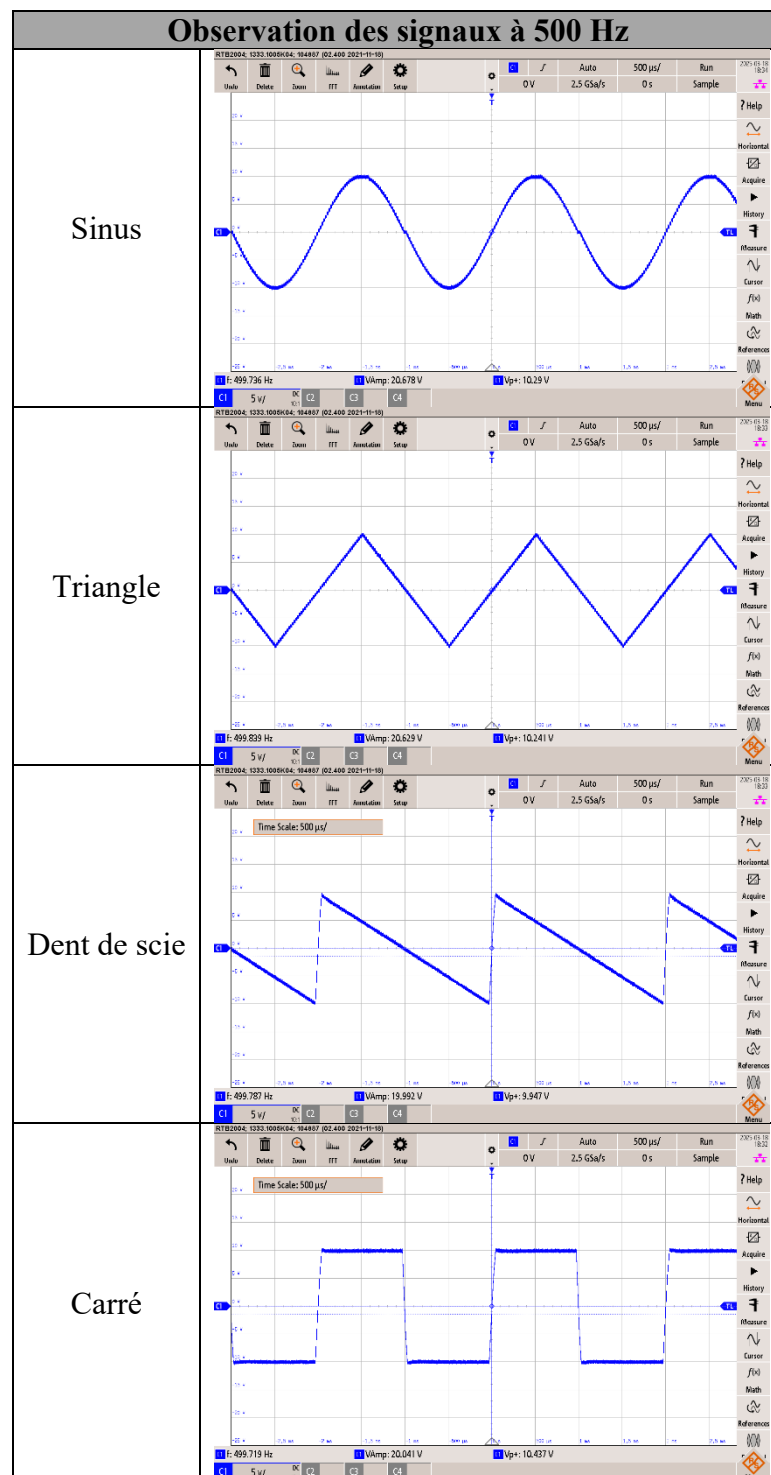
CH3 signal B



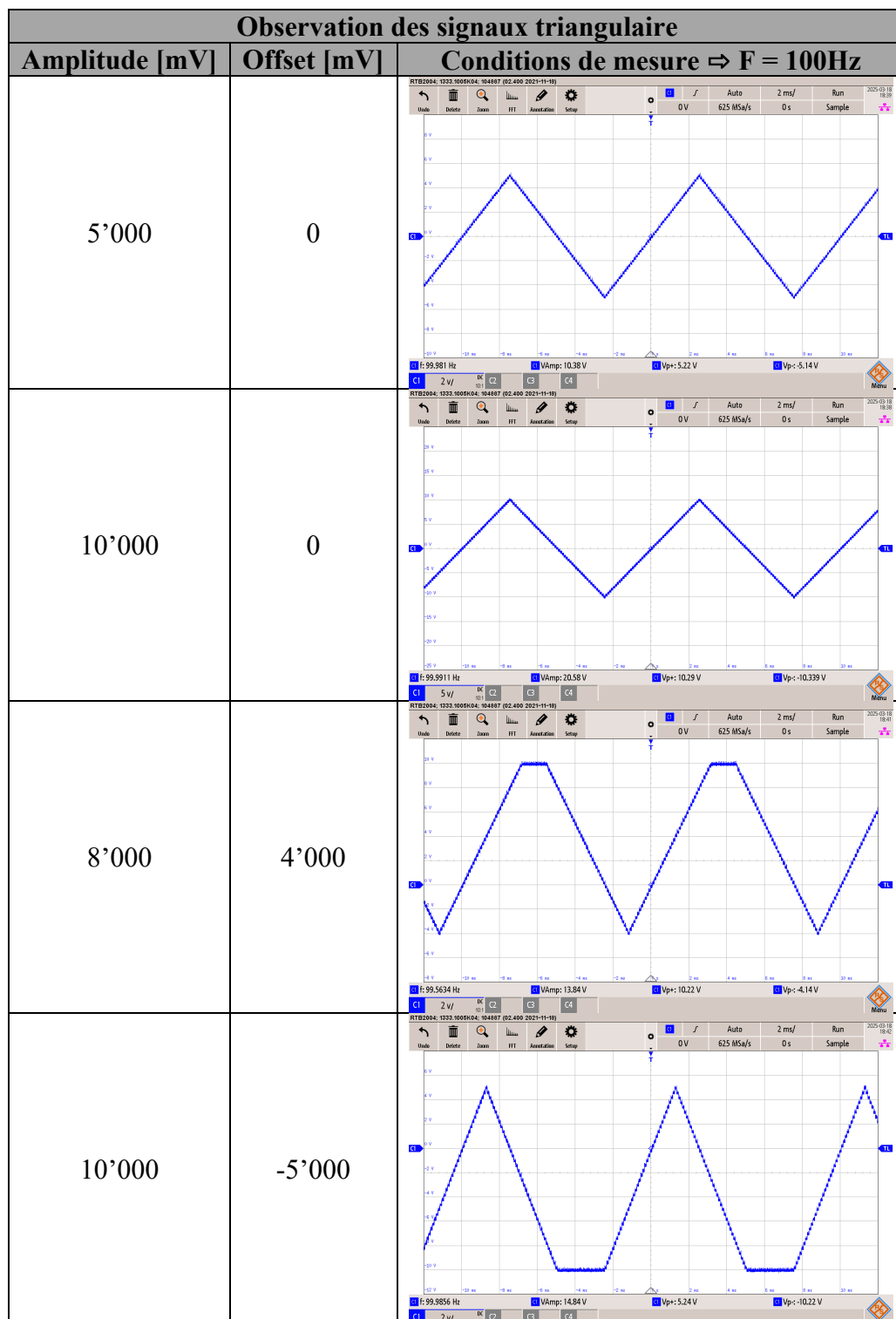
10.3 Mesure des signaux à 20 Hz



10.4 Mesure des signaux à 500 Hz



10.5 Mesure signaux triangulaire



10.6 Feuille de contrôle

Voir en attaché (total de 4 pages).

10.7 Cahier des charges

Voir en attaché (total de 10 pages...).

10.8 Liste du matériel

Désignation	Marque	Type	Caractéristiques	N° inventaire
G1	-	PC	Port USB	-
P1	Rohde&Schwarz	RTB2004	Oscilloscope 2,5GS/s	ES.SLO2.05.01.12
K1	ETML	Carte	Kit-ES	ES.SLO2.00.05.36
-	-	Debugger	-	R110