

TP3 : COMMUNICATIONS

NUMERIQUES

ADAM Théo-Félix / MAMBOTE Johvanis

TABLE DES MATIÈRES

1. LA MODULATION PSK.....	2
1.1. Mise En Œuvre De La Modulation PSK.....	2
2. DÉMODULATION PSK.....	6
1.2. Démodulation Par Multiplieur.....	6
1. LA MODULATION FSK.....	16
1.1.1. MISE EN ŒUVRE DE LA MODULATION FSK.....	16
1.1.2. DÉMODULATION FSK.....	18
2. LA MODULATION EN QUADRATURE.....	18
2.1.1. INTRODUCTION AUX MODULATIONS EN QUADRATURE.....	18
2.1.1. MISE EN ŒUVRE D'UNE MODULATION QPSK.....	20

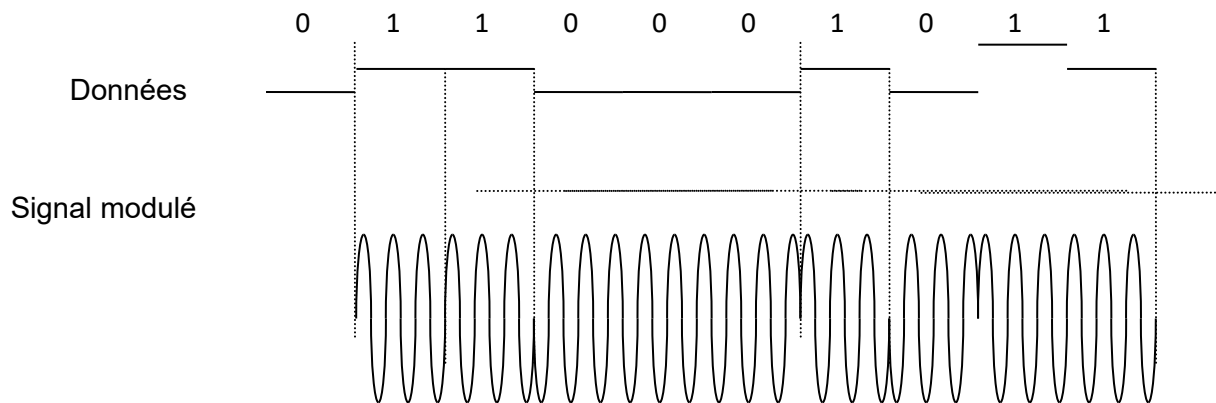
TABLE DES FIGURES

Figure I - saut de phase 1.....	3
Figure II - saut de phase 2.....	3
Figure III - Saut de phase 3.....	3
Figure IV - Signal de sortie NRZ.....	9

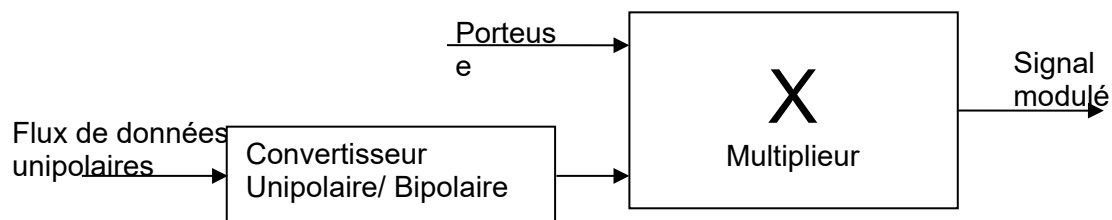
1. LA MODULATION PSK

1.1. MISE EN ŒUVRE DE LA MODULATION PSK

Avec la modulation Phase Shift Keying la phase de la sinusoïde en sortie du modulateur est commutée entre 2 valeurs suivant le signal à transmettre, on parle alors de modulation Bi-Phase Shift Keying BPSK.



Le modulateur BPSK utilise un multiplieur auquel est appliqué un signal modulant bipolaire de valeurs $+V$ pour avoir une sortie en phase ou $-V$ pour l'inversion de phase.



1. Relier la sortie S-NRZ à l'entrée E-UNIPOLAIRE afin de générer le NRZ Bipolaire en S-BIPOLAIRE. Appliquer le signal de sortie à un multiplieur E-MODULANT. Appliquer sur l'entrée E-PORTEUSE un signal sinusoïdal à 500KHz. Vérifier qu'après réglages vous obtenez en sortie un signal modulé en phase BPSK, d'amplitude constante.

Nous avons en sortie un signal qui à chaque changement d'état a un saut de phase, entouré en vert. Quand le signal passe de 1 à 0, le saut de phase est en bas et quand il passe de 0 à 1, le saut de phase est en haut. De plus, nous avons toujours la même amplitude sur le signal de sortie modulé, sur les courbes ci-dessous, le signal en rose.

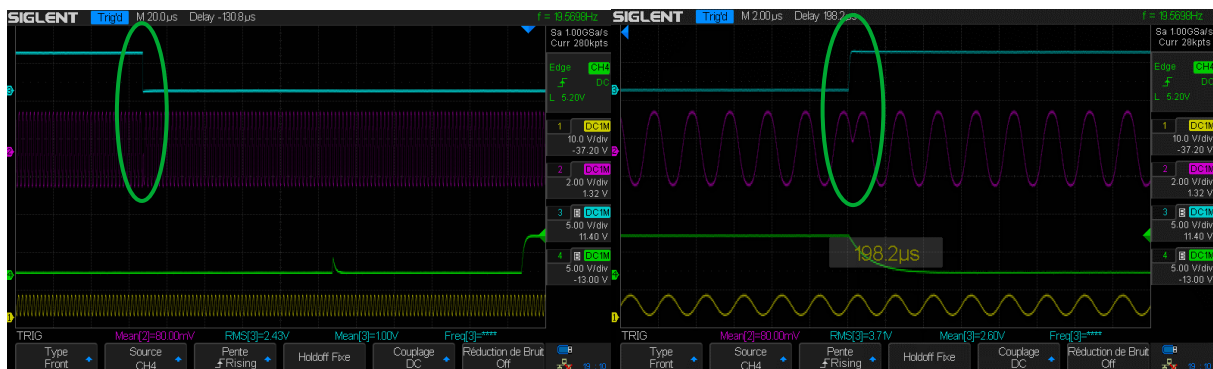


Figure I - Saut De Phase 1

Figure II - Saut De Phase 2

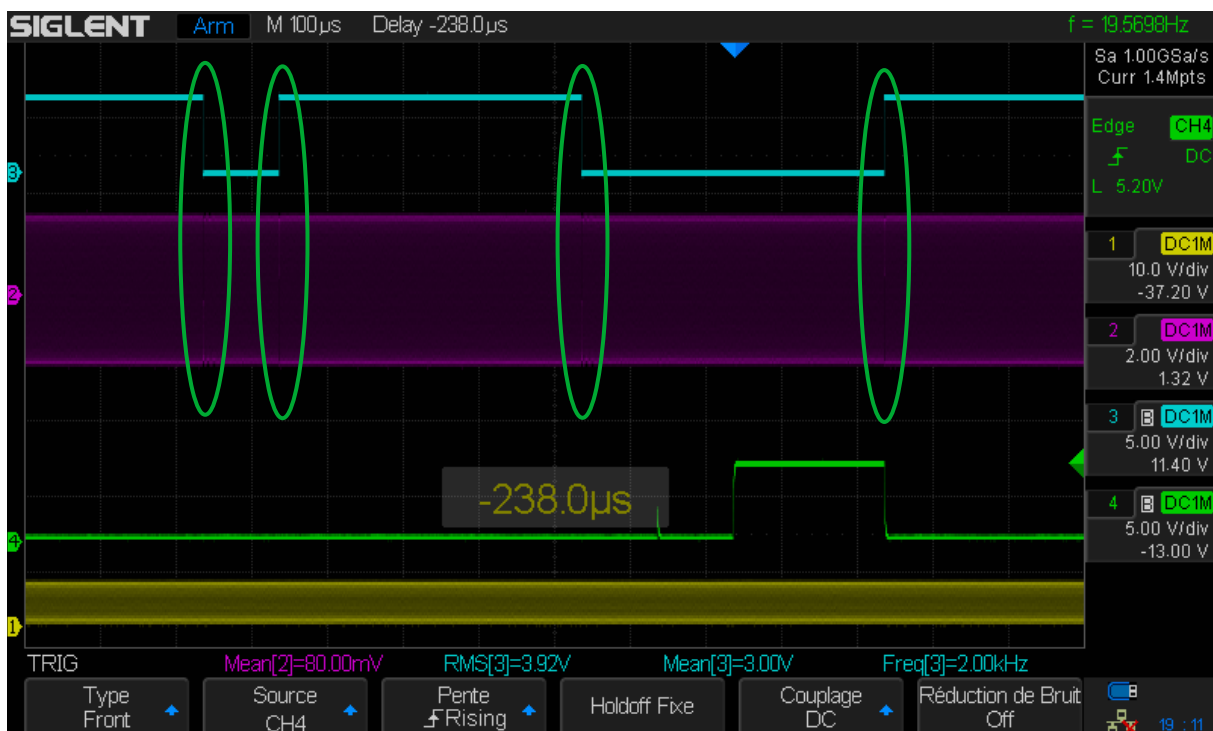
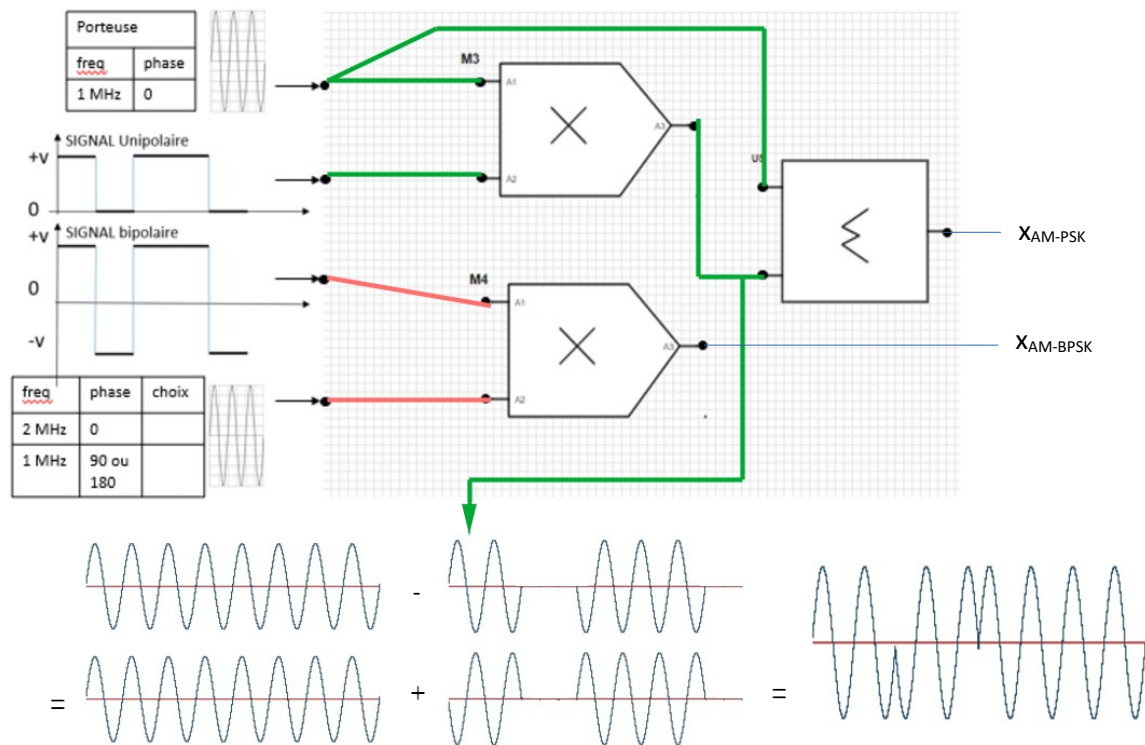


Figure III - Saut De Phase 3

2. Utiliser la figure suivante pour montrer le principe et le câblage de la BPSK.



Pour la BPSK, nous avons une porteuse que nous multiplions au signal bipolaire. Quand le signal bipolaire vaut $V+$, alors le signal modulé change seulement d'amplitude. Et quand le signal bipolaire vaut $V-$, alors le signal modulé change d'amplitude et le -1 peut être multiplié à la porteuse, qui s'inverse. L'amplitude entre les deux changements d'état est la même, mais un saut de phase apparaît, car la porteuse s'inverse à $V-$.

- Observer le spectre du signal modulé et le comparer au cas ASK « On-Off ».

Avec le cas ASK On-Off, nous avons obtenu la courbe suivante :

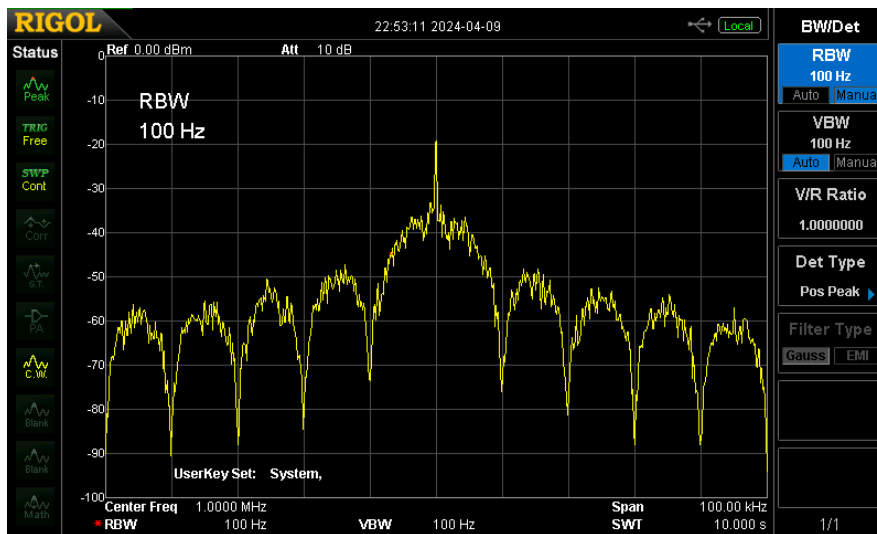


Figure V - Spectre Modulation ASK OOK

Maintenant, nous avons :

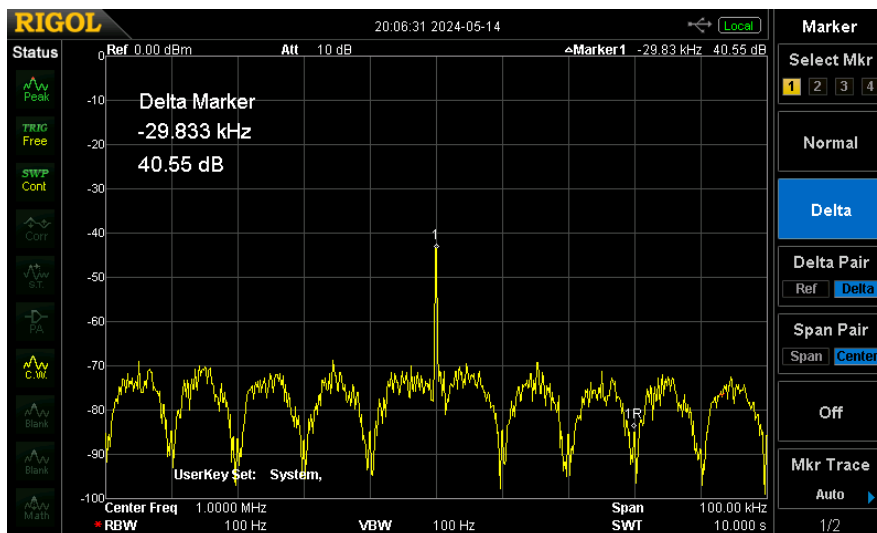


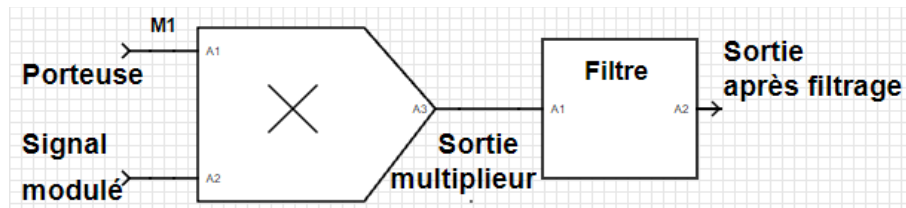
Figure VI - Spectre Modulation PSK

Nous observons que l'occupation spectrale est la même. Or, les amplitudes sont maintenant atténuées et sont en dessous de -70 dB. Nous transmettons donc beaucoup moins de puissance en modulation PSK, contrairement à la modulation OOK.

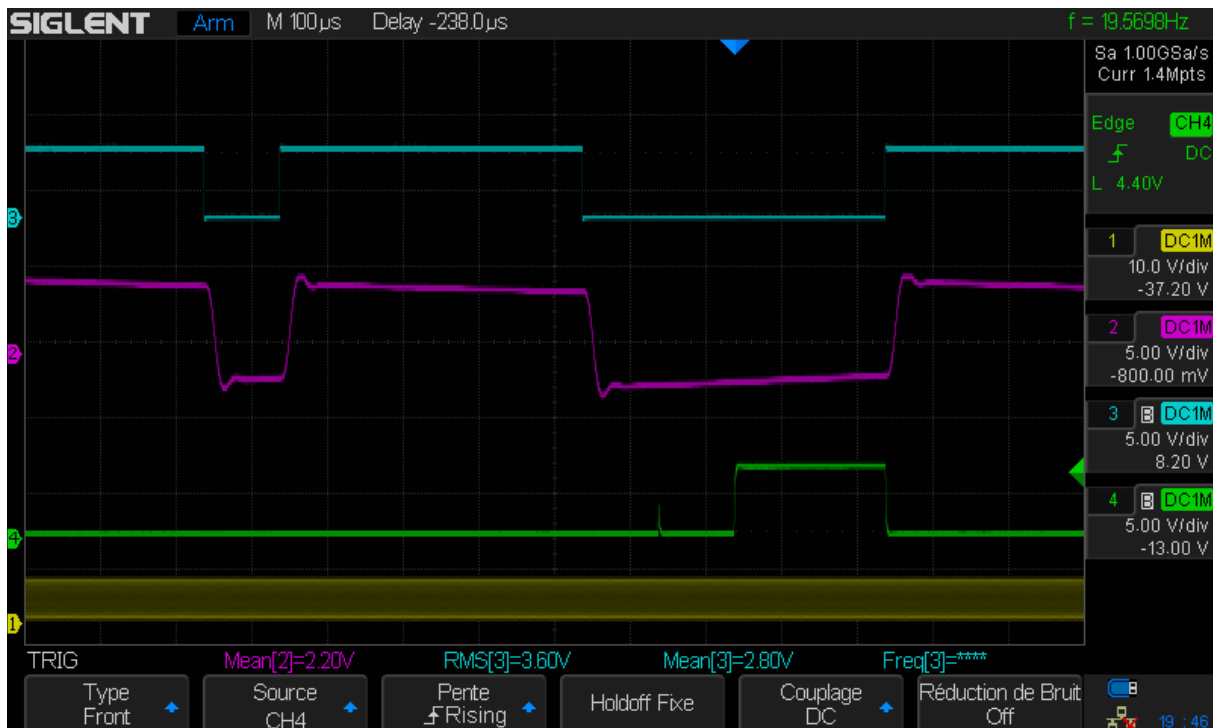
2. DÉMODULATION PSK

1.2. DÉMODULATION PAR MULTIPLIEUR

Un circuit de démodulation utilisant un second multiplieur peut être utilisé pour démoduler le signal BPSK.

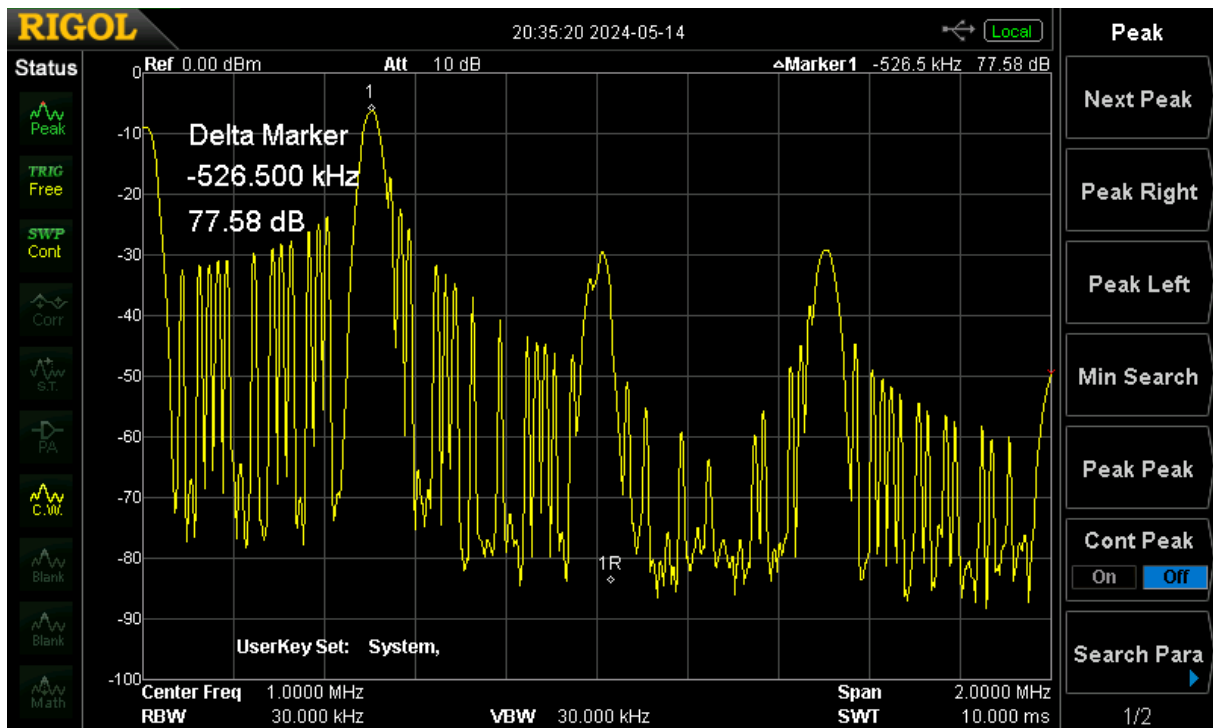


- 1) Appliquer le signal modulé BPSK à l'entrée E-modulation et le signal à la fréquence porteuse à l'entrée E-porteuse de la carte démodulation, puis la sortie S-multi à l'amplificateur E-ampli et enfin la sortie S-ampli au filtre passe bas d'entrée E-PB et sortie S-PB. Vérifier le fonctionnement et si besoin ajuster les réglages du multiplieur (Offset1, Offset2) et de l'amplificateur (Offset et Gain)

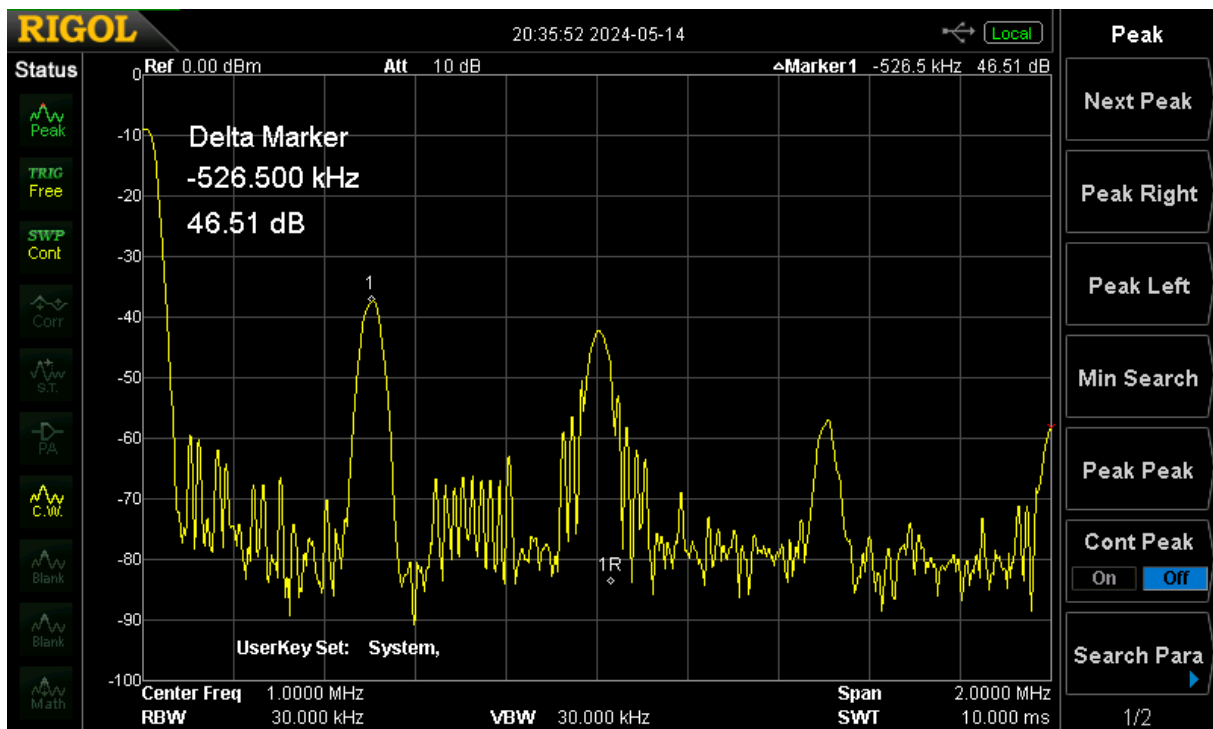


- 2) Visualiser les spectres en entrée du démodulateur, sortie multiplieur, sortie ampli et sortie filtre.

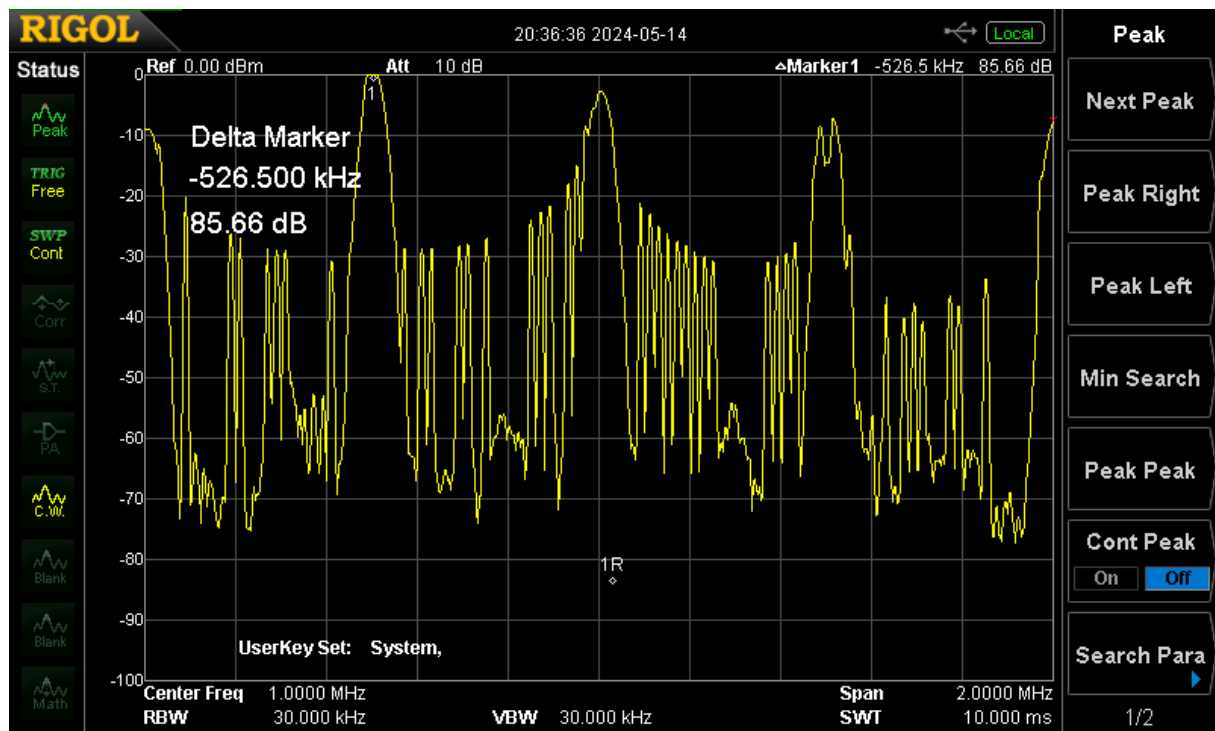
Spectre en entrée du démodulateur :



Spectre en sortie du multiplieur :

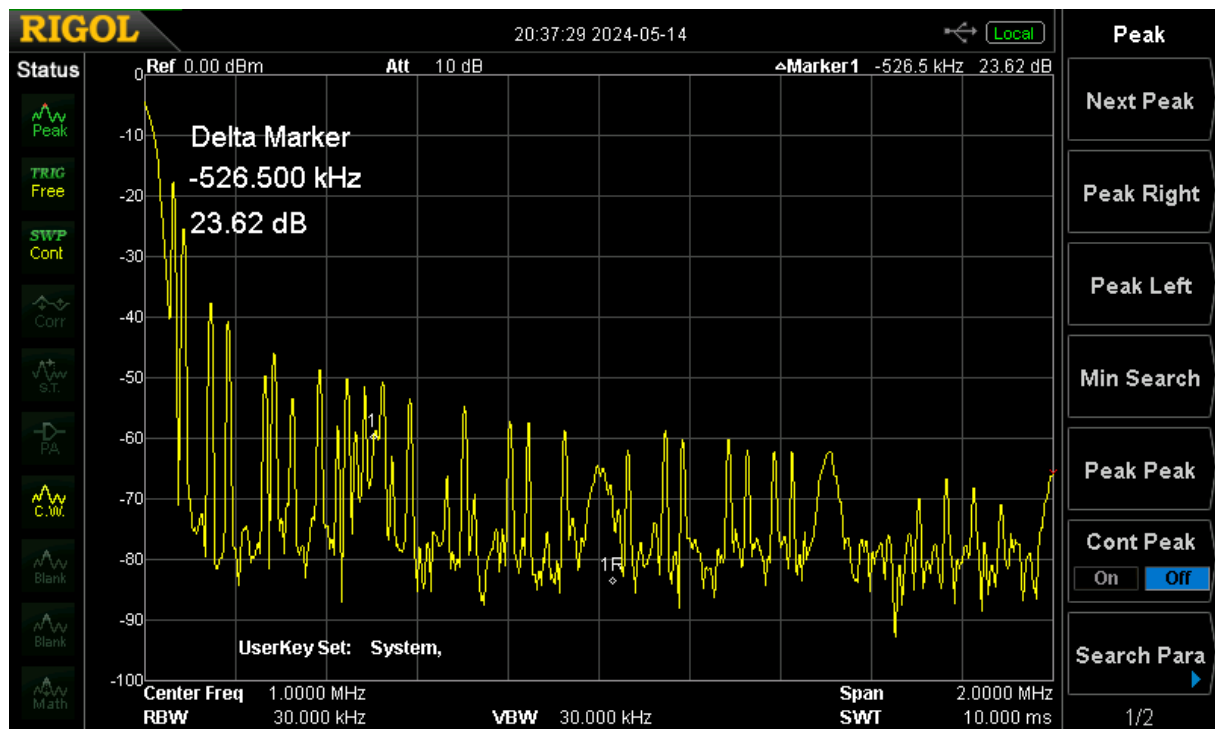


Spectre en sortie de l'amplificateur :



Les spectres sont amplifiés.

Spectre en sortie du filtre :



Les amplitudes en haute fréquence sont coupées. Il ne reste plus que la composante continue.

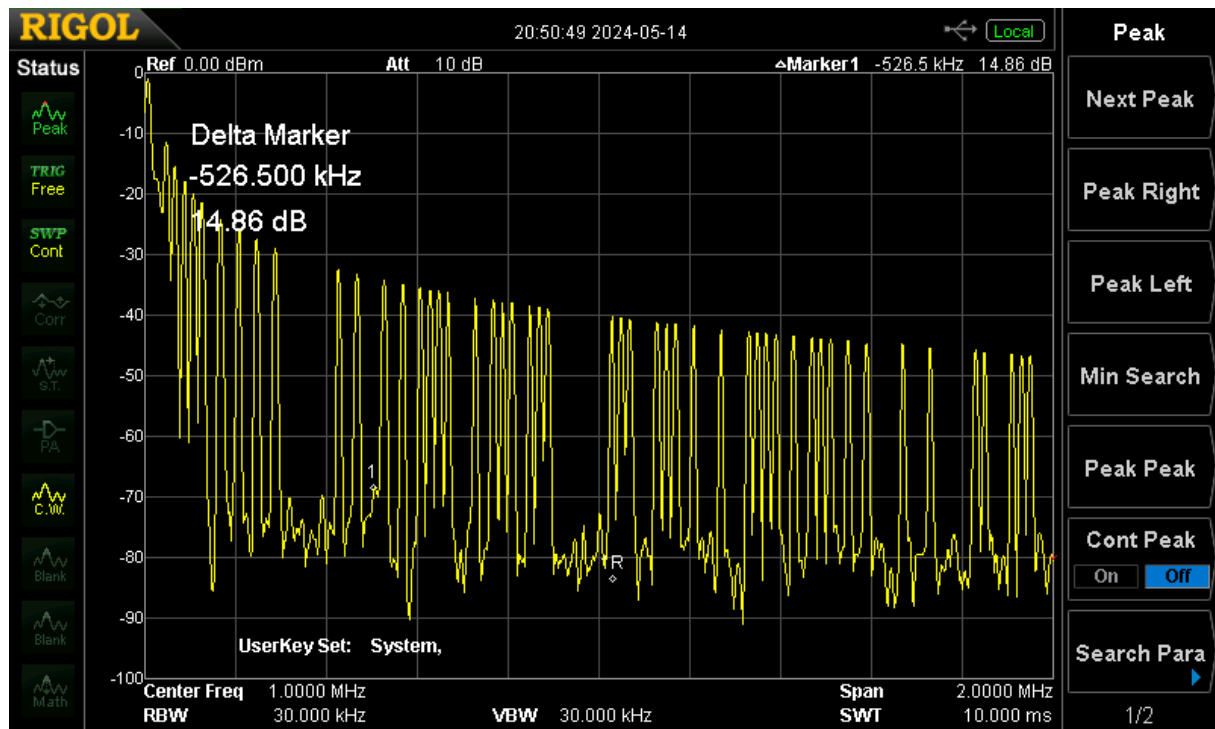
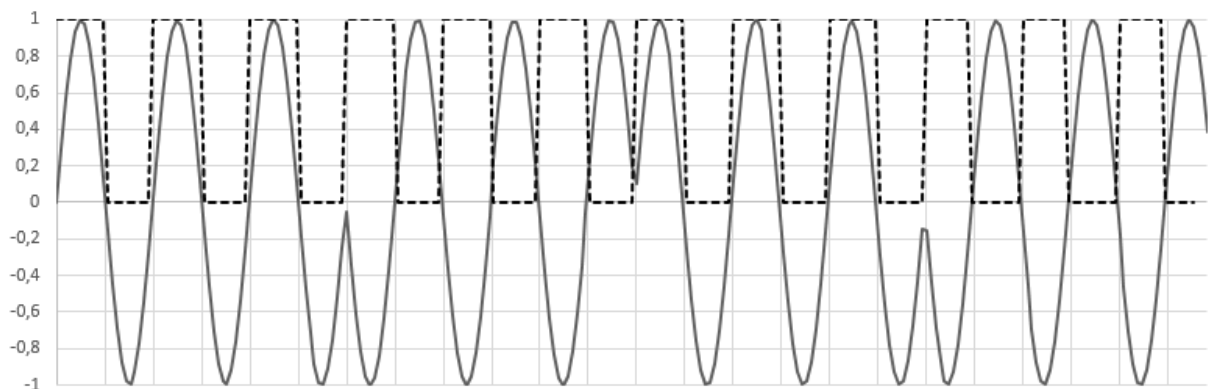


Figure VII - Signal de sortie NRZ

2.2.2.2 Démodulation par découpage

Le principe de la démodulation est alors représenté ci-dessous avec en pointillé un signal carré à la fréquence de la porteuse et en trait plein le signal modulé.

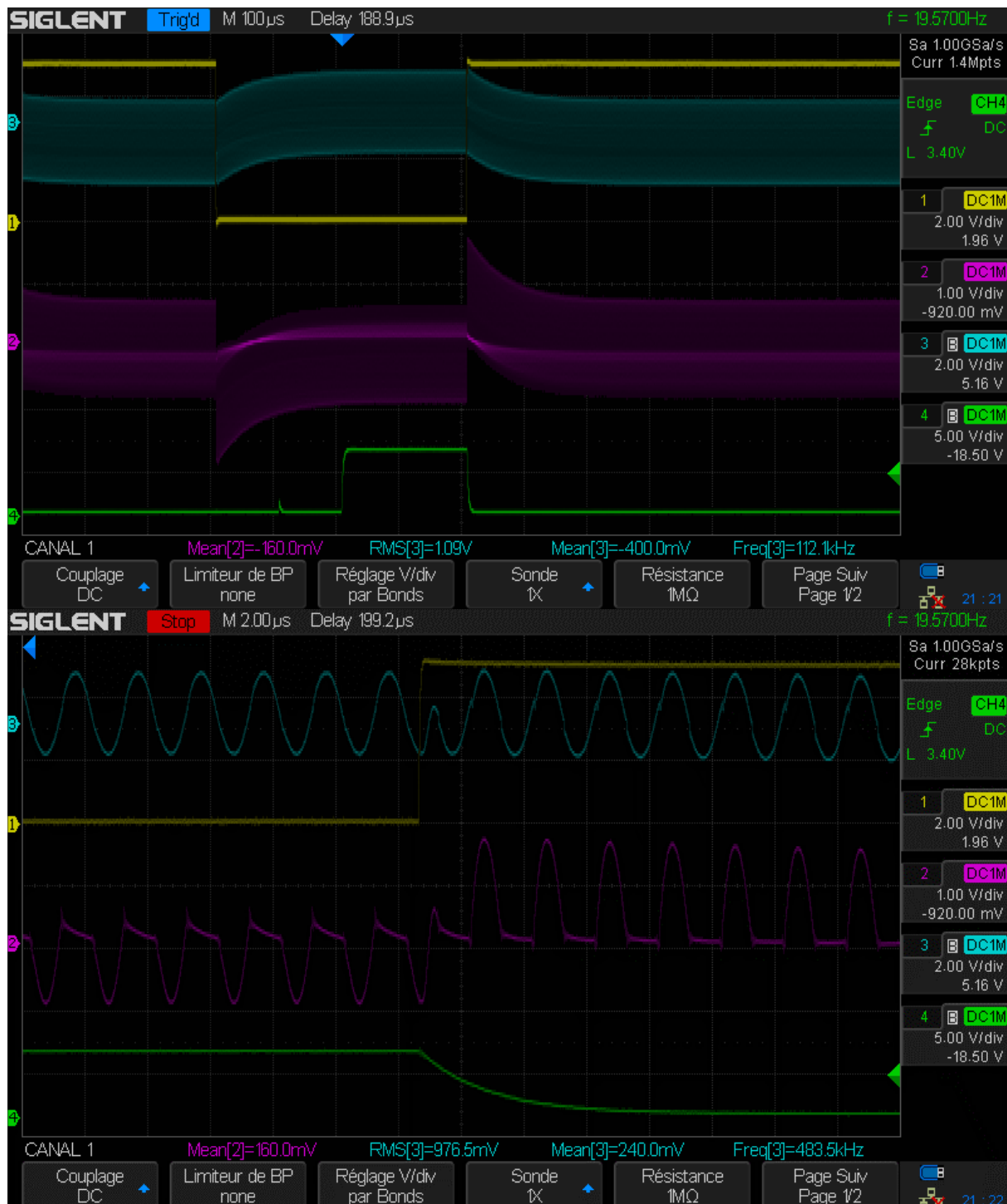


Le signal carré est appliqué à un commutateur tel que :

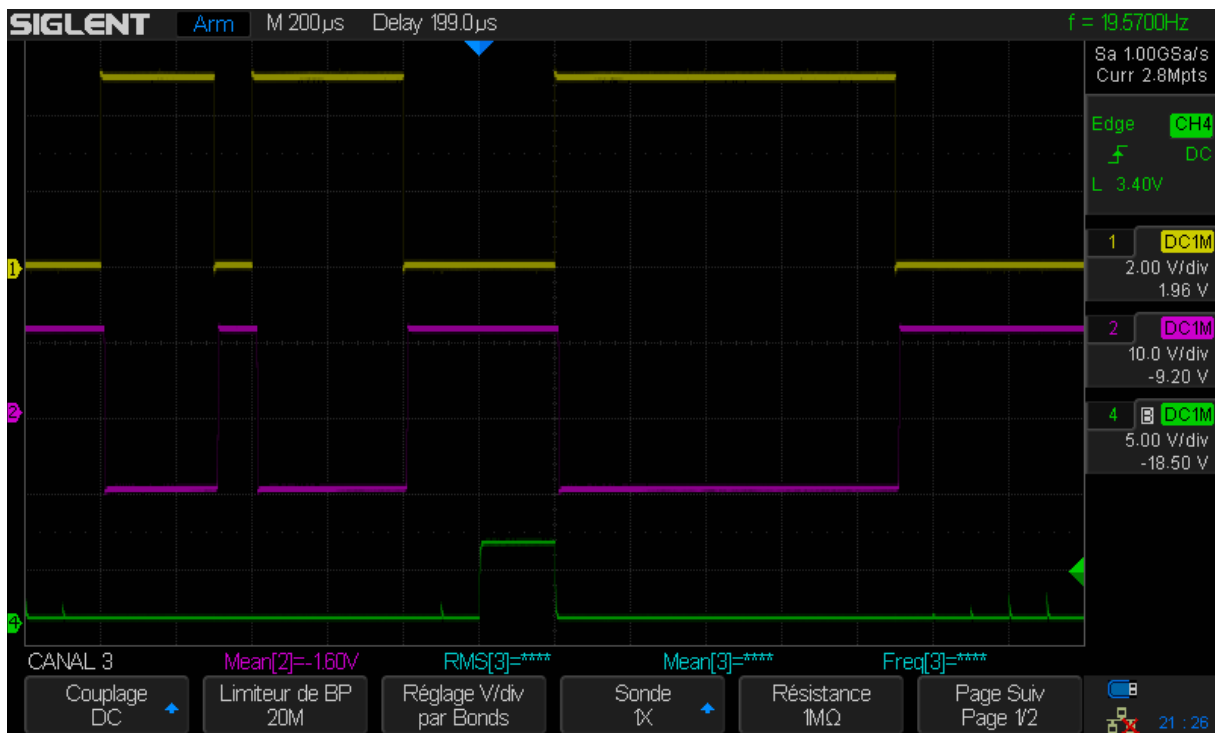
- à l'état haut le commutateur sera fermé et le signal sera conservé en sortie
- à l'état bas le signal le commutateur sera ouvert et le signal de sortie sera nul.

Etude théorique : Tracer les variations du signal de sortie obtenu.

- 1) Appliquer le signal modulé BPSK à l'entrée E-demopsk et un signal carré à la fréquence de la porteuse à l'entrée E-commut. Observer le signal de sortie en ajustant la phase du signal carré.

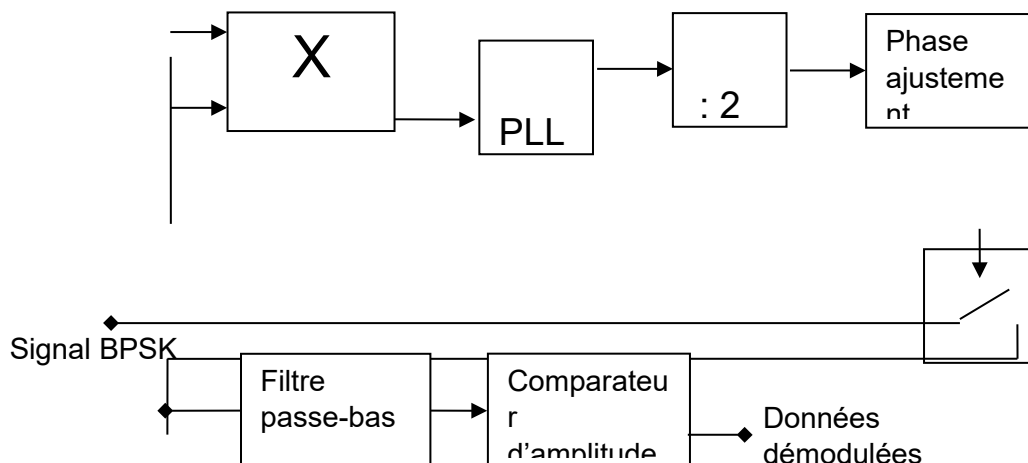


- 2) On utilise ensuite le filtre passe bas, entrée E-Pb et sortie S-PB, puis le comparateur, entrée E-comp, sortie S-comp. Ajuster le niveau de comparaison et vérifier le fonctionnement.



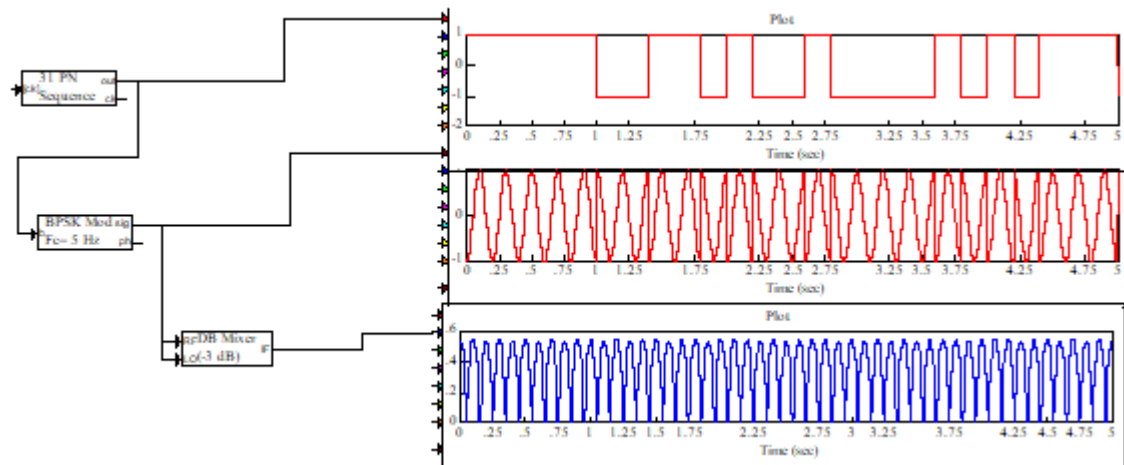
2.2.2.3 Récupération de la fréquence porteuse

L'une des difficultés de la démodulation est de pouvoir reconstituer un signal à la fréquence de la porteuse. Une solution est d'utiliser une PLL. Dans le cas d'un signal BPSK, le système suivant est alors utilisé.



La partie supérieure permet de reconstituer la fréquence porteuse en utilisant une PLL.

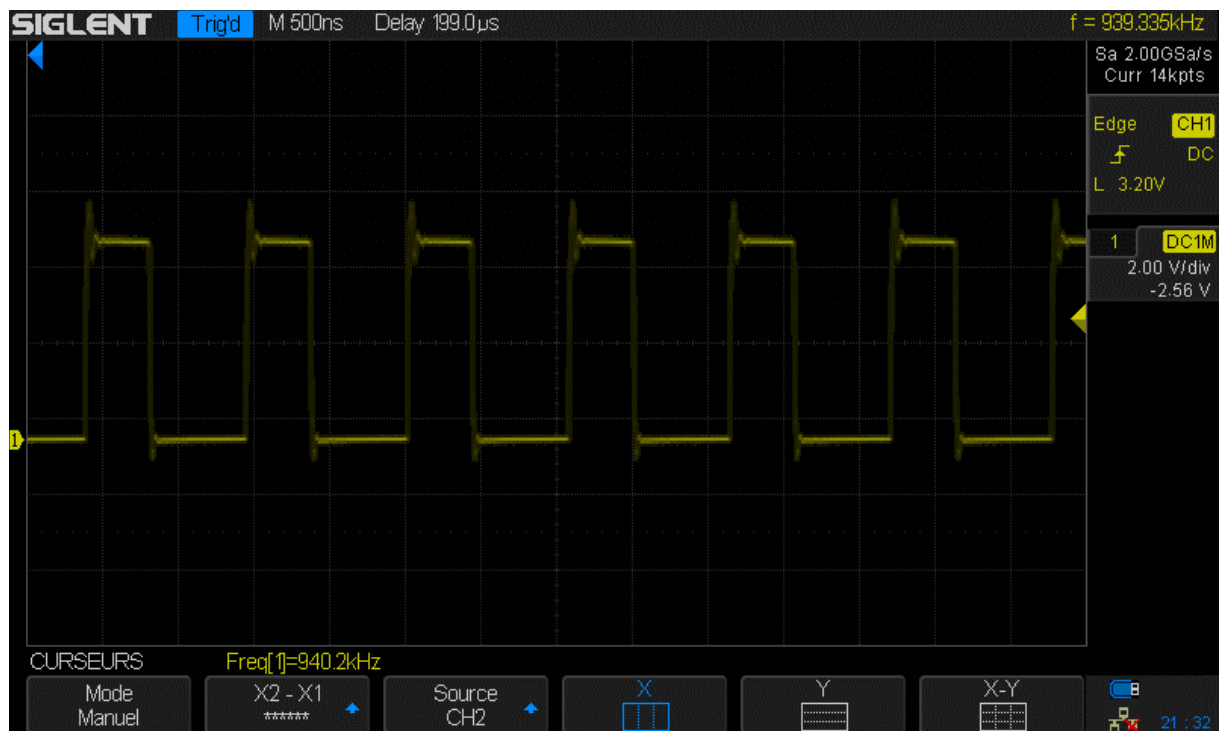
- Le signal modulé est tout d'abord multiplié par lui même de façon à éliminer les sauts de phase de π . Le signal issu de ce multiplieur a une fréquence double de la porteuse (voir signal bleu sur la figure suivante).



- Une PLL permet de verrouiller la phase du VCO sur celle de la porteuse et délivre un signal de sortie de forme carrée à la fréquence double de la porteuse.
- Un diviseur de fréquence par deux permet de retrouver le signal à la fréquence porteuse.
- Un déphaseur permet d'ajuster la phase du signal issu du diviseur avec la phase du signal modulé.
- La sortie est ensuite appliquée sur un commutateur qui permet de prélever le signal si le signal reconstitué est à 1. Le principe de la démodulation est alors représenté ci-dessous avec en pointillé le signal reconstitué et en trait plein le signal modulé.

1) Caractérisation de la PLL :

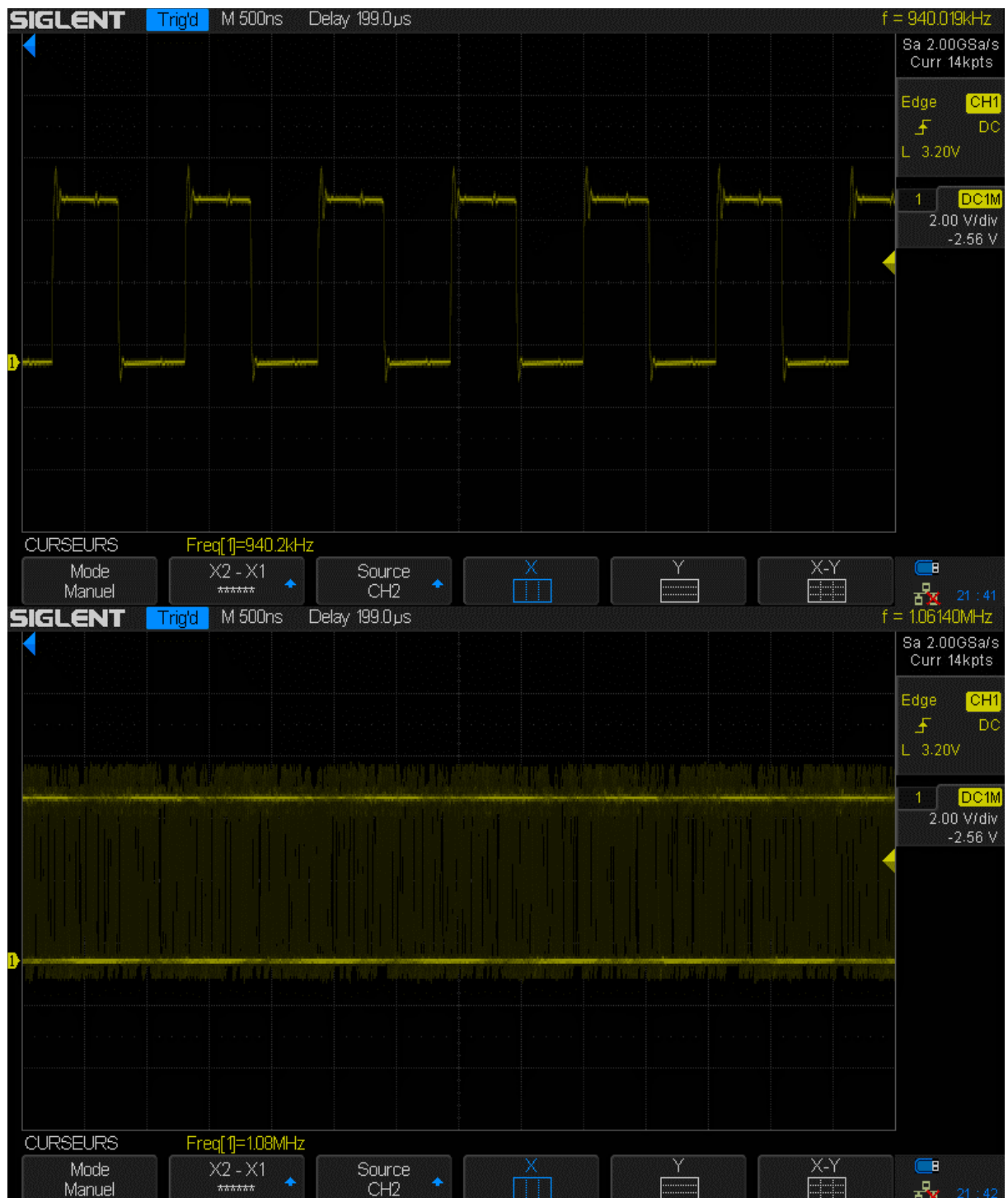
- Mettre l'entrée E-pll à la masse, visualiser la tension en sortie de VCO, S-vco, mesurer sa fréquence f_0 .

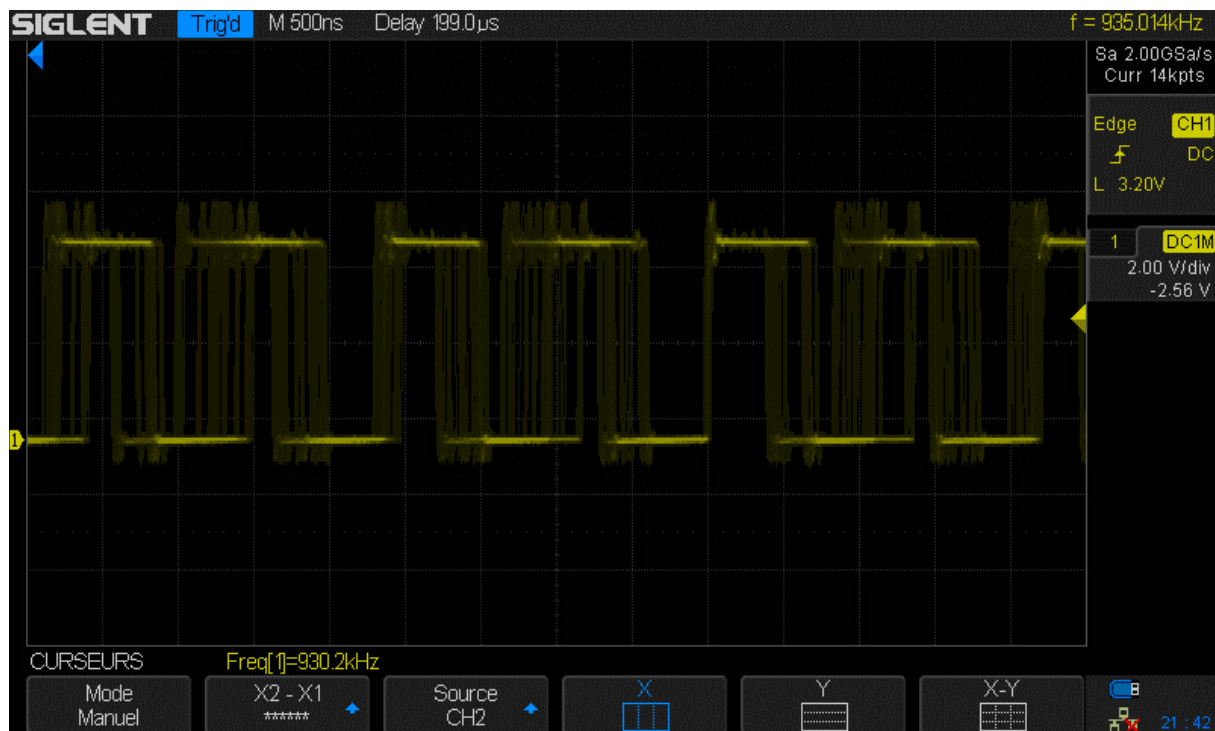


Sa fréquence est de $f_0 = 940 \text{ kHz}$

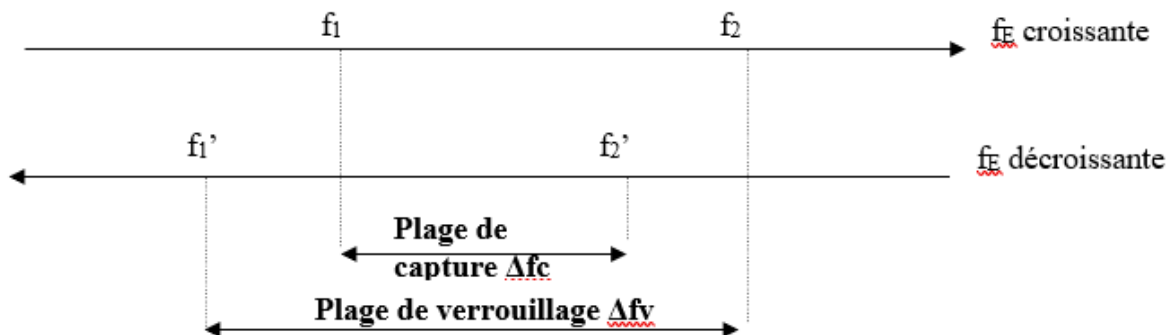
- Appliquer en E-pll un signal carré 0/+5V de fréquence f_0 . Vérifier que la PLL est verrouillée.

A f_0 , la pll est accrochée. Au-delà, elle se décroche et tremble. En dessous, elle se décroche aussi et tremble. Elle est donc verrouillée autour de f_0 .





- Faire un balayage en fréquence pour retrouver les plages de capture et de verrouillage.



En faisant un balayage manuel :

$F1' = 0.5 \text{ MHz}$ $f1 = 0.8 \text{ MHz}$
 $F2 = 2.1 \text{ MHz}$ $f2' = 1.5 \text{ MHz}$

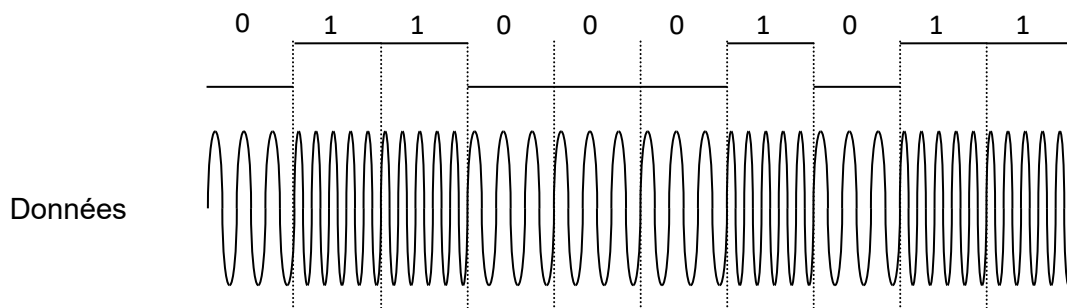
- Par la suite nous utiliserons la PLL avec un signal sinusoïdal. Appliquer sur l'entrée E-pll un signal sinusoïdal centré sur 2.5V, d'amplitude crête à crête 5V. Vérifier que la synchronisation est toujours obtenue. Quelle doit être l'amplitude minimale en entrée pour que le fonctionnement soit correct ?
- 2) Fonctionnement multiplieur et ampli :
 - Appliquer un signal sinusoïdal 500 KHz, d'amplitude crête à crête 2.5 V aux entrées E-porteuse et E-modulation de la carte démodulation, puis la sortie S-multi à l'amplificateur E-ampli. Observer le signal en sortie S-ampli. Réaliser

- les réglages du multiplieur (Offset1, Offset2) afin de retrouver en sortie S-ampli un signal à la fréquence double de celle d'entrée
- Ajuster l'Offset de l'amplificateur afin d'obtenir un signal centré sur 2.5V et modifier le Gain. Appliquer la sortie de l'amplificateur à la PLL et vérifier sa synchronisation.
- 3) Récupération de la porteuse sur signal BPSK
- Remplacer le signal sinusoïdal par le signal modulé BPSK.
 - Ajuster l'Offset de l'amplificateur afin d'obtenir un signal centré sur 2.5V et modifier le Gain. Appliquer la sortie de l'amplificateur à la PLL et vérifier sa synchronisation
- 4) Démodulation complète
- La sortie de la PLL est reliée à un diviseur de fréquence (compteur). Visualiser sa sortie et la comparer à S-vco.
 - Relier S-div à E-commut, appliquer le signal BPSK à E-demopsk et vérifier le fonctionnement.
 - Compléter pour réaliser une démodulation complète.

1. LA MODULATION FSK

1.1.1. MISE EN ŒUVRE DE LA MODULATION FSK

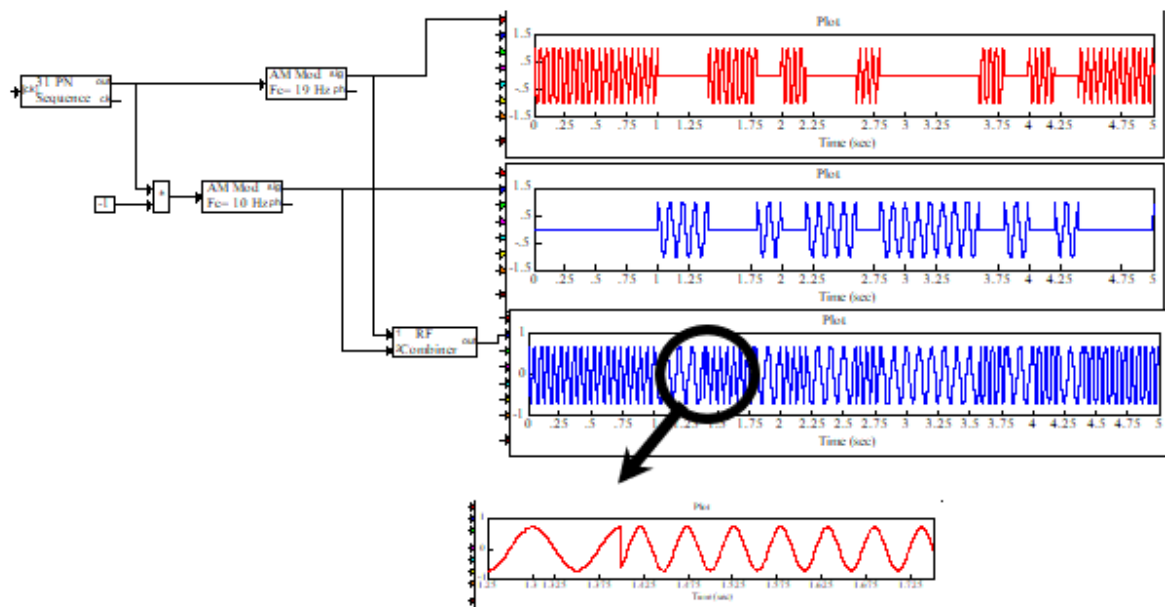
En modulation FSK la fréquence du signal modulé commute d'une fréquence à une autre, à chaque changement de niveau du signal modulant correspondant aux données à transmettre.



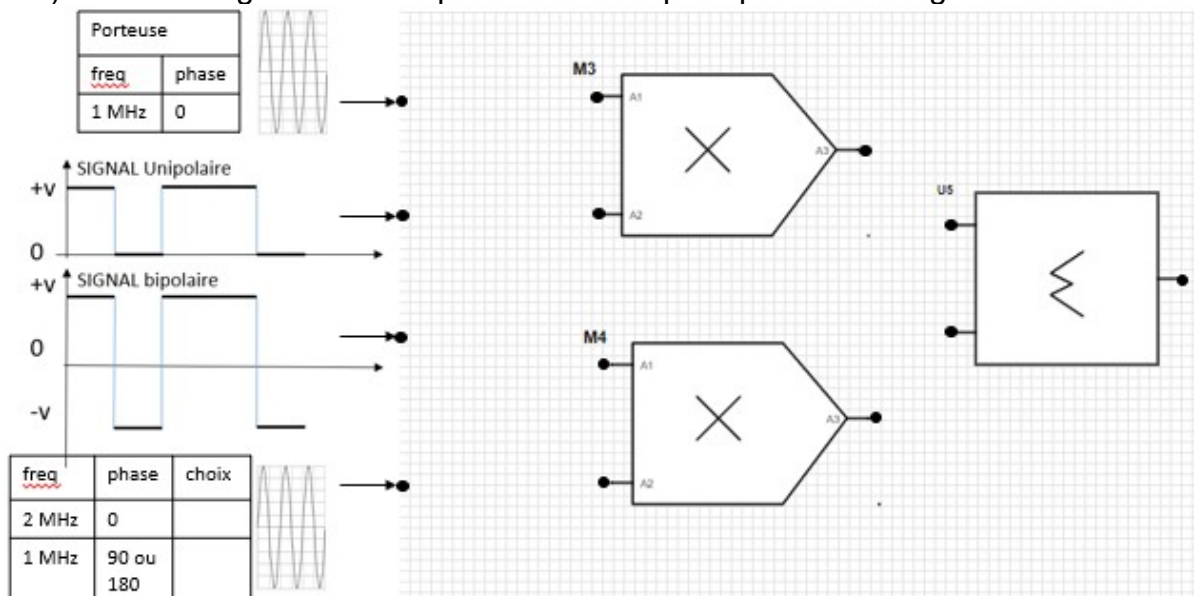
Signal modulé

Pour générer un signal FSK, une solution répandue consiste à utiliser un VCO pour lequel l'entrée est connectée aux données et la sortie représente le signal modulé en fréquence.

La seconde solution que nous utiliserons lors de ce TP consiste à utiliser deux modulateurs ASK pour lesquels les formes d'ondes de sortie seront additionnées.



1) Utiliser la figure suivante pour montrer le principe et le câblage de la FSK.



- 2) Utiliser les 2 multiplieurs de la carte de modulation pour générer 2 signaux ASK avec des fréquences porteuses de 900KHz et 1MHz et les signaux modulateurs NRZ et NRZ inversé.
- 3) Ajuster les potentiomètres des 2 multiplieurs pour avoir une amplitude de modulation tout ou rien et la même amplitude de sortie (par exemple 1 Volt pk/pk).
- 4) Ajouter l'additionneur et visualiser le signal modulé obtenu.
- 5) Observer le spectre du signal modulé et le comparer à celui du signal ASK.

1.1.2. DÉMODULATION FSK

A la réception, le circuit nécessaire pour démoduler la forme d'onde FSK est réalisé par une boucle à verrouillage de phase PLL dont la fréquence du signal de sortie du VCO suit la fréquence du signal modulé injecté en entrée. Pour ce faire le signal en sortie du détecteur phase/fréquence est directement proportionnel à l'écart de fréquence présent sur l'entrée et par conséquent directement proportionnel aux données.

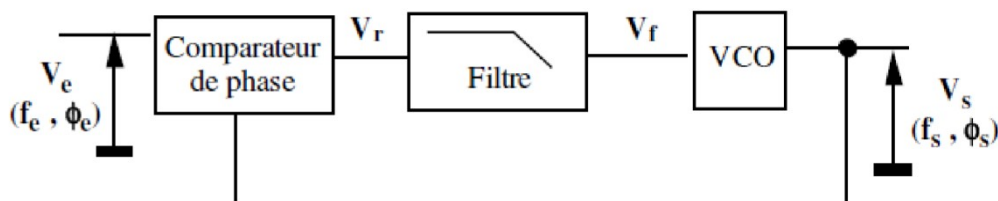


Figure : représentation générale de la boucle à verrouillage de phase

- 6) Passer le signal modulé dans l'amplificateur. Ajuster les niveaux de sortie à une valeur moyenne de 2.5V et une amplitude crête à crête de l'ordre de 5V.
- 7) Relier la sortie de l'amplificateur à la PLL « FSK DEMODULATOR ». Observer le signal de sortie et conclure. D'après vous quel signal est visualisé en sortie du démodulateur (Ve ou Vr ou Vf ou Vs)?
- 8) Utiliser le filtre passe bas et le comparateur pour reconstituer le signal numérique.

2. LA MODULATION EN QUADRATURE

2.1.1. INTRODUCTION AUX MODULATIONS EN QUADRATURE

De façon générale, un signal modulé peut être noté sous la forme d'une modification de l'amplitude et/ou de la phase d'une porteuse :

$$S(t) = E(t) \cdot \cos(\omega_0 t + \phi(t))$$

Le signal modulé peut également s'écrire sous la forme

$$S(t) = E(t) \cdot \cos(\phi(t)) \cdot \cos(\omega_0 t) - E(t) \cdot \sin(\phi(t)) \cdot \sin(\omega_0 t) = I(t) \cdot \cos(\omega_0 t) - Q(t) \cdot \sin(\omega_0 t)$$

Soit un signal modulé dont l'amplitude et la phase dépendent de $I(t)$ (In phase) et $Q(t)$ (Quadrature).

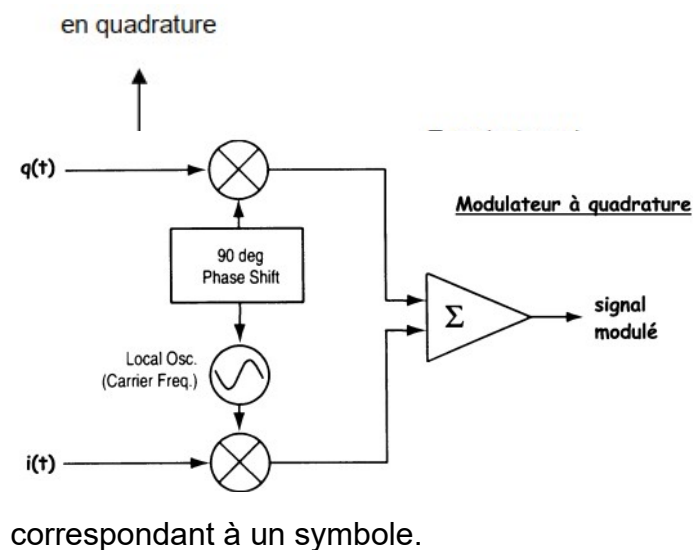
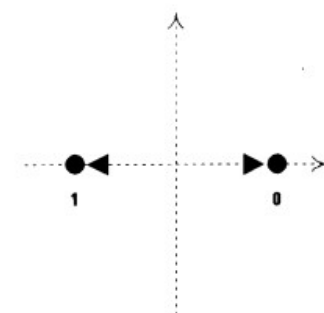
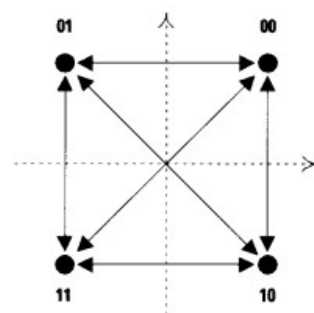


Figure : Principe de la modulation en Quadrature.

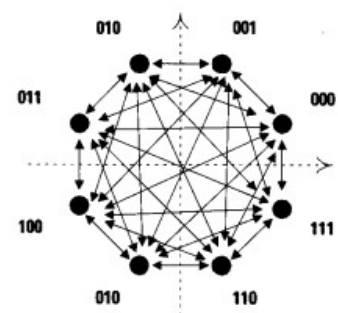
Sur ce principe, de nombreuses modulations peuvent être définies, elles sont représentées par leur constellation, chaque point correspondant à un symbole.



Bi-phase shift keying (BPSK)
1 bits/symbole
débit symbolique = débit binaire



Quadrature phase shift keying (QPSK)
2 bits/symbole
débit symbolique = $1/2$ débit binaire



8-phase shift keying
3 bits/symbole
débit symbolique = $1/3$ débit binaire

Figure : Exemple de constellations

Les modulations en quadratures présentent l'avantage de pouvoir transmettre plusieurs bits sur un même symbole. La rapidité de modulation B s'exprime en bauds ou symbole/s.

En binaire, 1 bit est transmis par symbole soit un débit binaire en bits/s : $D = \frac{1}{T_b} = B$ avec T_b la durée d'un bit. Dans le cas de la QPSK, 2 bits sont transmis par symbole, soit un débit $D = 2B$.

2.1.1. MISE EN ŒUVRE D'UNE MODULATION QPSK

Pour réaliser concrètement une modulation QPSK, les données numériques doivent être décomposées en symboles de 2 éléments binaires successifs.

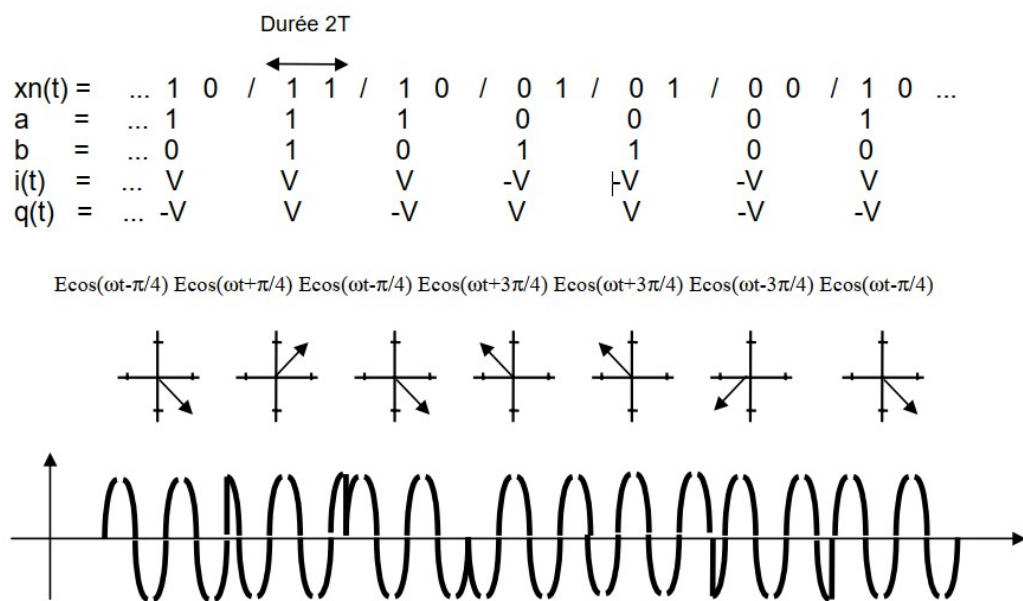
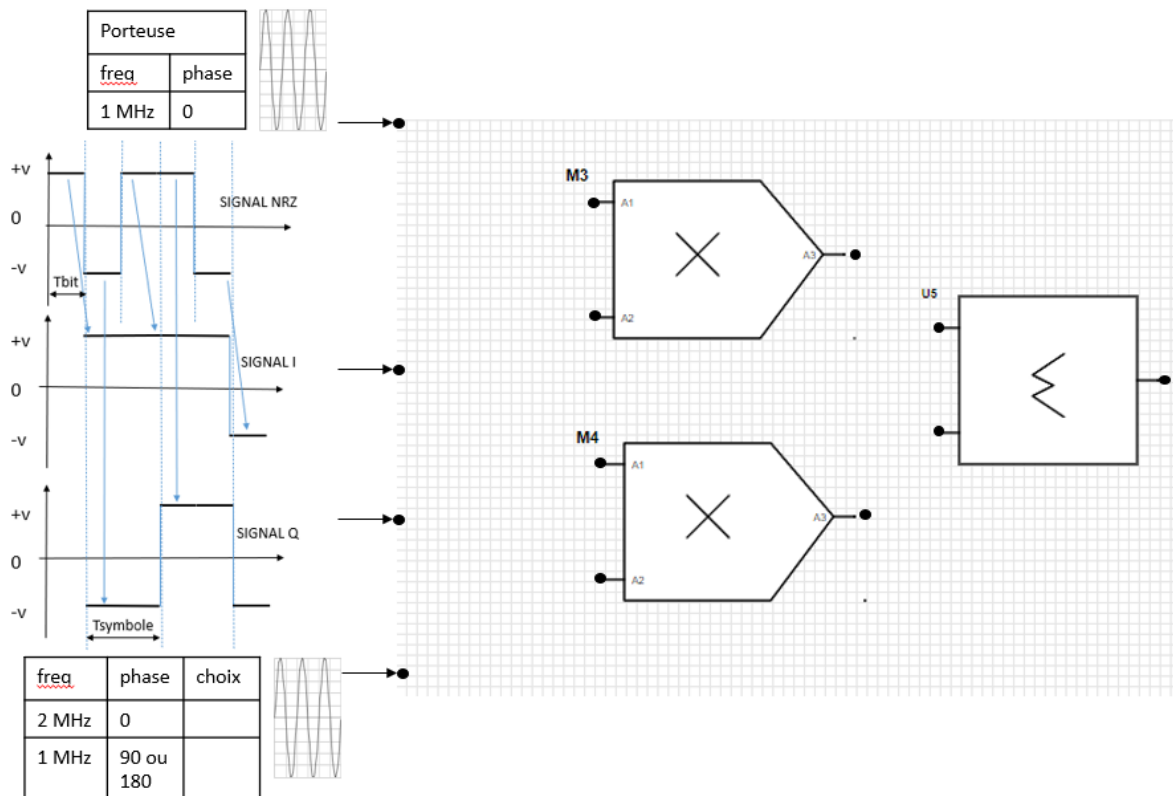


Figure : Signaux pour la création de la QPSK

- 1) Utiliser la figure suivante pour montrer le principe et le câblage de la QPSK.



- 1) La modulation en quadrature est obtenue en utilisant 2 multiplieurs avec les signaux à la fréquence porteuse en quadrature, soit déphasés de 90° . Utiliser le générateur pour générer ces 2 sinusoïdes déphasées de 90° . Câbler le modulateur et faire les réglages nécessaires à l'obtention d'un signal QPSK
- 2) Visualiser le spectre du signal et conclure.