

Rapport TP2 :

Modulation & démodulation d'un signal

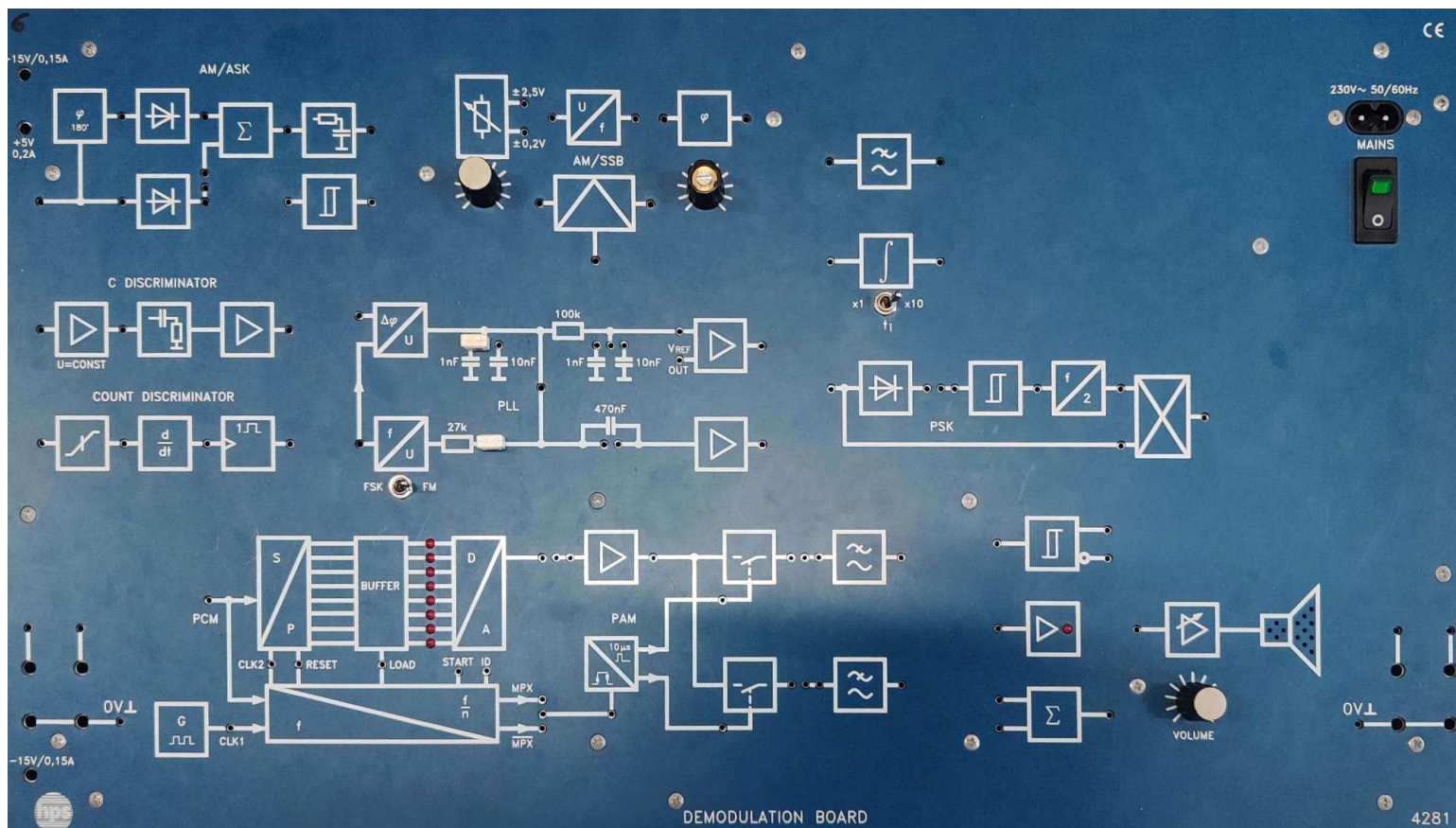
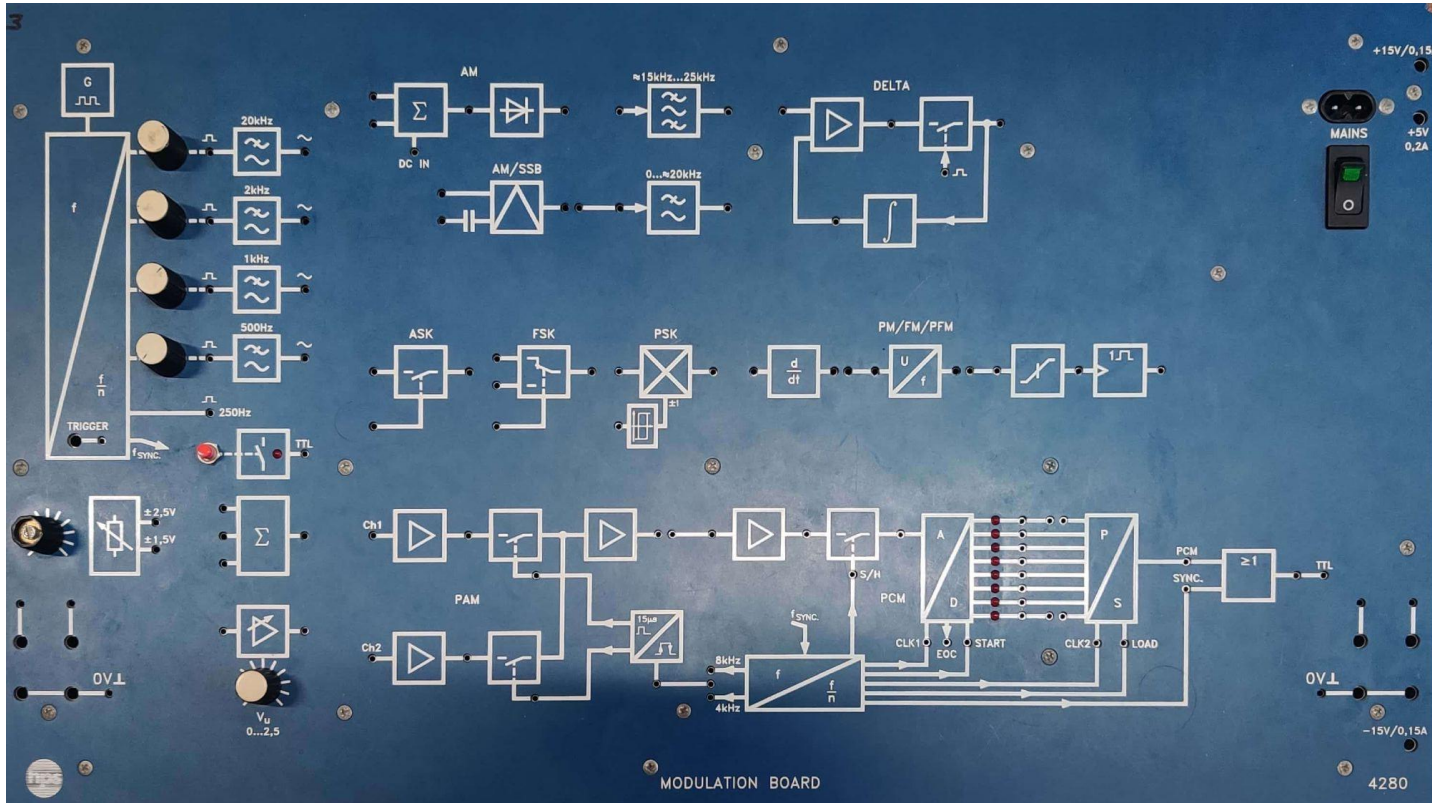
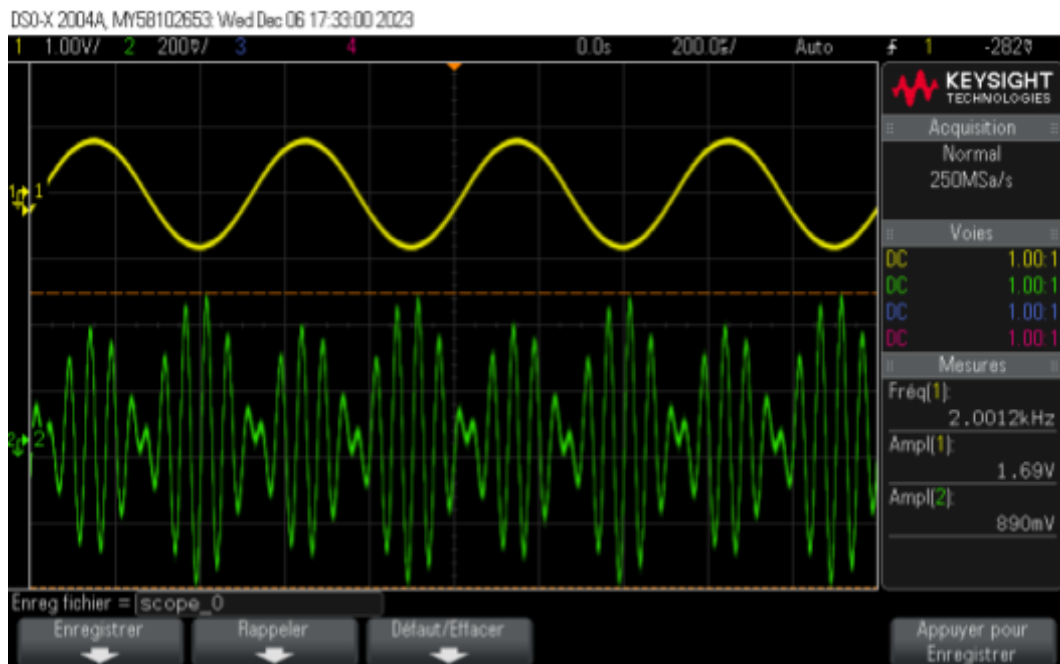


Table des matières

1/ Modulation d'amplitude avec suppression de la porteuse.....	3
A) Partie Modulation.....	3
B) Partie Démodulation.....	4
Avec $\Phi=0$,.....	4
Avec $\Phi=\pi$,.....	5
Avec $\Phi=\pi/2$	6
2/ Modulation d'amplitude classique.....	7
A) Modulation.....	7
B) Démodulation.....	9
3/ Modulation de fréquence ou de phase.....	10
A) Modulation purement sinusoïdale.....	10
B) Démodulation par discriminateur.....	11
C) Modulation par PLL.....	12

1/ Modulation d'amplitude avec suppression de la porteuse

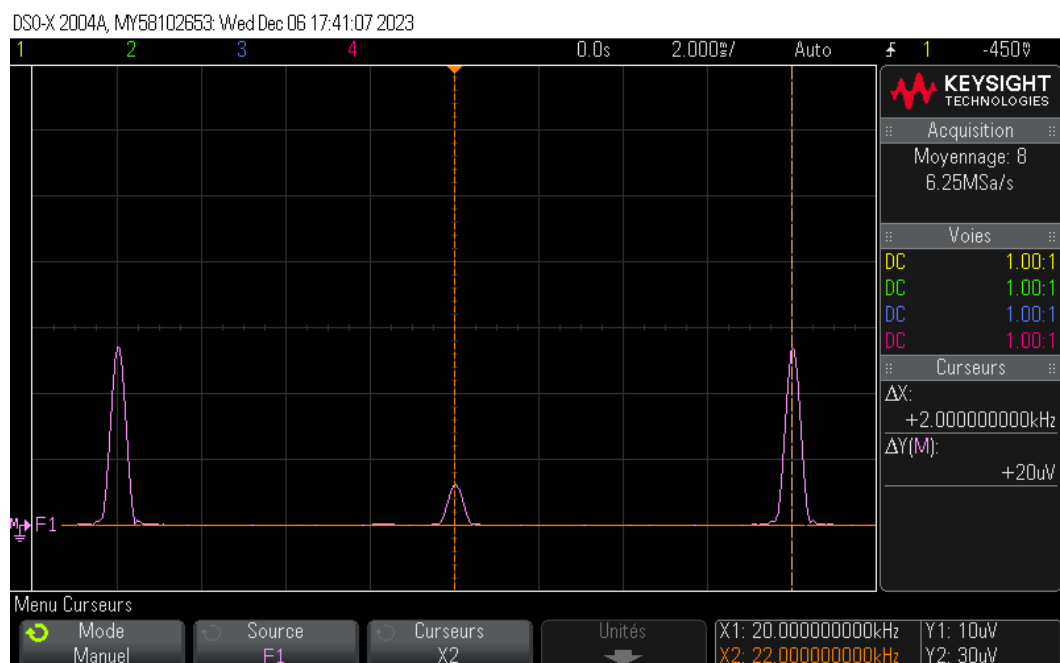
A) Partie Modulation



Jaune : signal modulant (2kHz)

Vert : Signal modulé avec porteuse à 20kHz et modulant 2kHz.

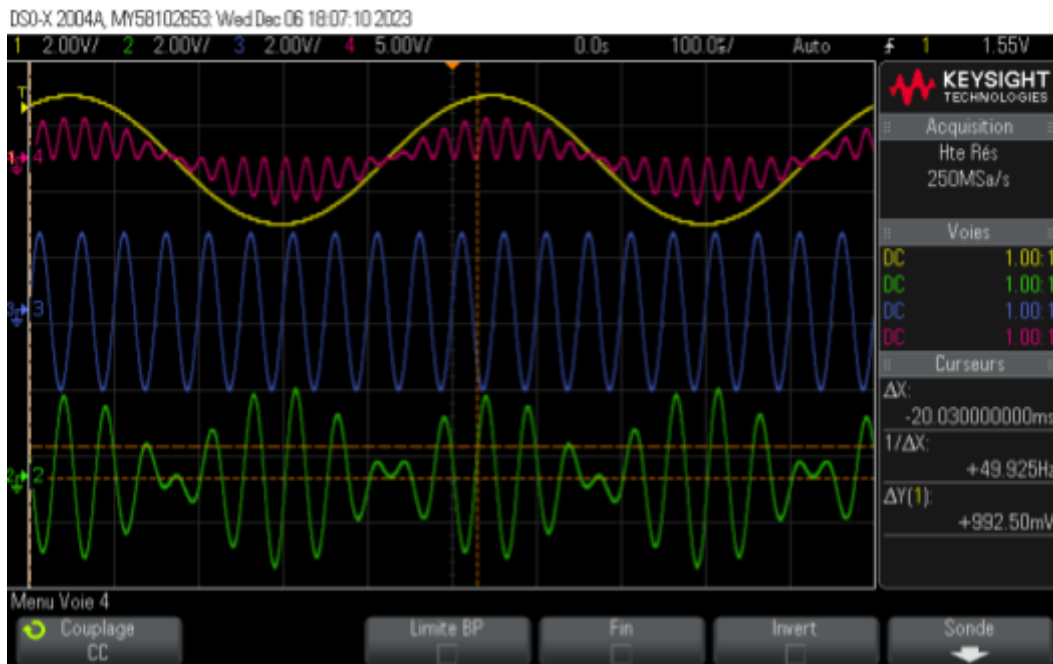
On peut clairement voir sur la capture ci-dessus l'amplitude de la porteuse (signal vert) varier en fonction du signal modulant (signal jaune). On a donc une modulation d'amplitude.



On peut voir sur l'analyseur de spectre un pic à la fréquence de la porteuse (20 kHz), et deux autres pics à +/- la fréquence du modulant (2kHz).

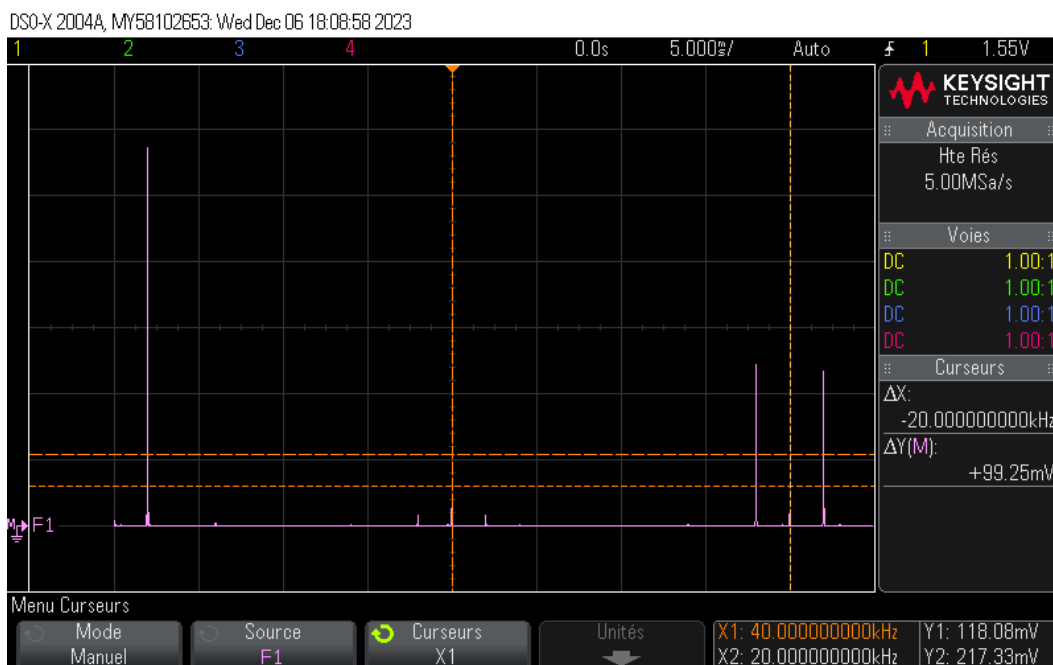
B) Partie Démodulation

Avec $\Phi=0$,



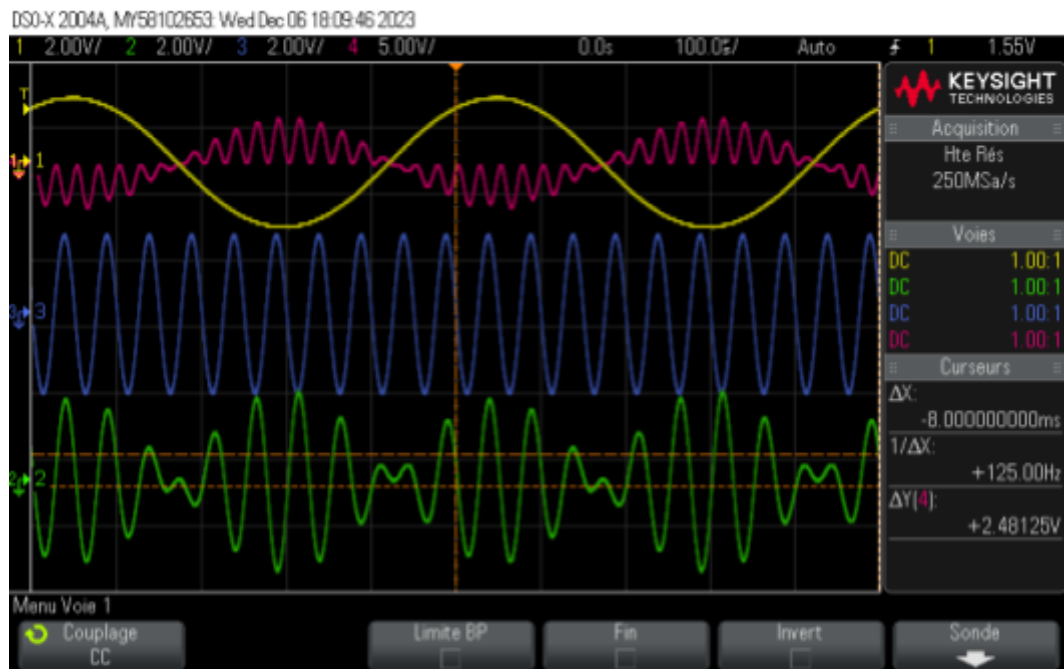
Jaune : Signal modulant (2kHz) ; Vert : signal modulé ;
Bleu : Signal porteuse ; Rouge : porteuse avant filtrage

Quand la détection synchrone est nulle, alors le signal démodulé (après le filtre) est similaire au signal modulant.



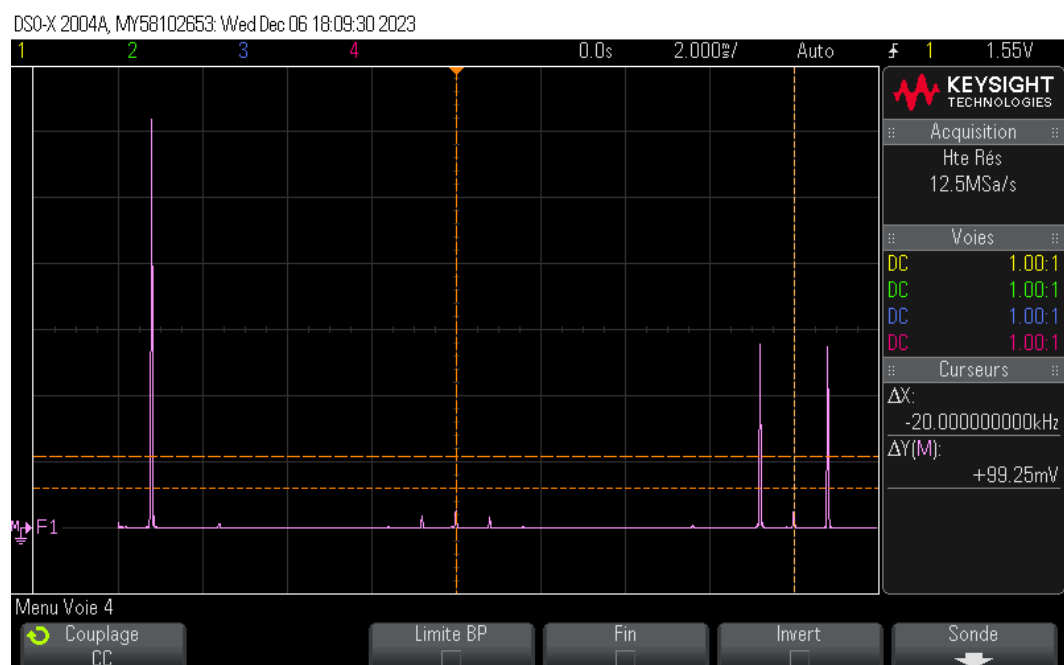
On peut observer sur l'analyseur de spectre des pics distants de la fréquence de la porteuse \pm la fréquence du modulant. On peut donc dire que ces pics sont le résultat de la multiplication de deux fois la porteuse et du modulant.

Avec $\Phi = \pi$,



Jaune : Signal modulant (2kHz) ; Vert : signal modulé ;
Bleu : Signal porteuse ; Rouge : porteuse avant filtrage

Quand la détection synchrone est égale à π , alors le signal démodulé est déphasé de π : le signal final est l'inverse du signal à l'origine (rouge / jaune).



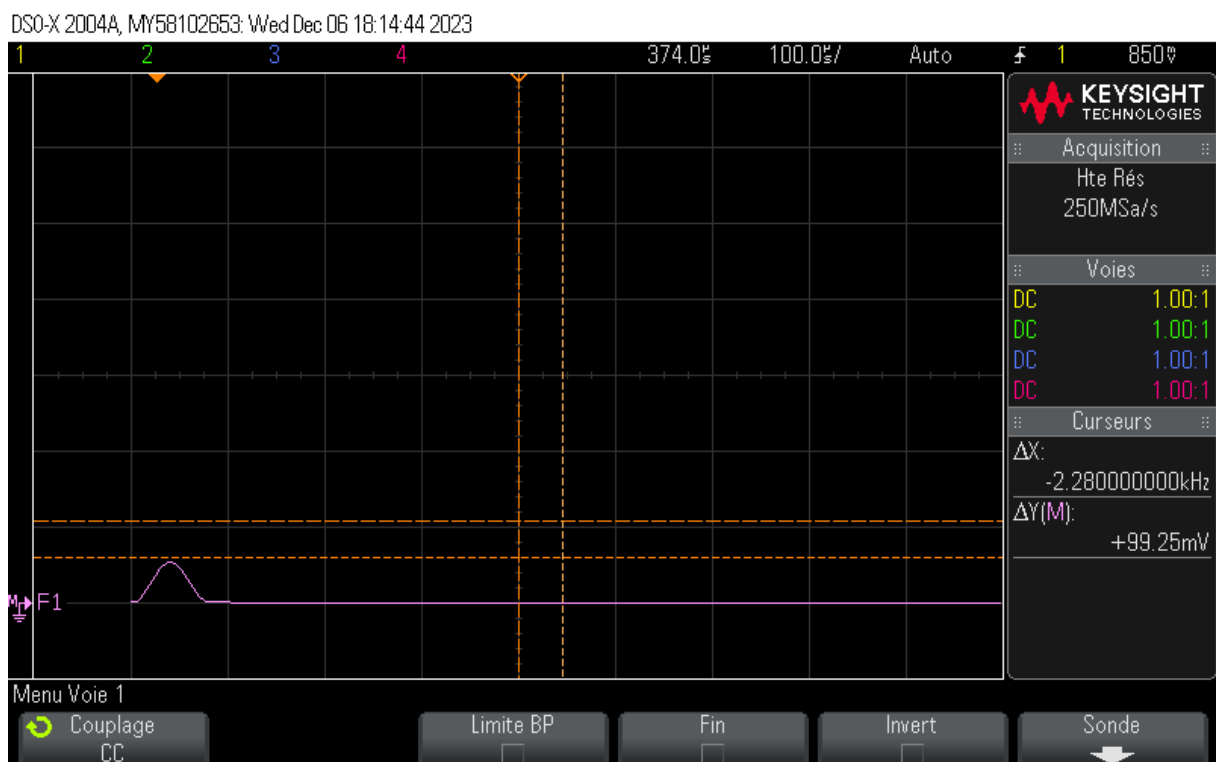
Cette différence de phase n'a pas d'impact dans le domaine des fréquences : le spectre pour $\Phi = 0$ et $\Phi = \pi$ est identique.

Avec $\Phi = \pi/2$



Jaune : Signal modulant (2kHz) ; Vert : signal modulé ;
Bleu : signal démodulé avant filtre ; Rouge : porteuse après filtrage

Avec une détection synchrone égale à $\pi/2$, le signal démodulé est nul.



Sur l'analyseur de spectre, on observe plus aucun pic. Ce phénomène peut s'expliquer par l'équation de la modulation : si la phase égal à $\pi/2$, alors :

$$x_{dem} = Ax(t)\cos(\omega_p t + \varphi) = \frac{AK}{2}\cos(\omega_{inf})[\cos(\omega_p t + \varphi) + \cos(\varphi)] = 0.$$

Le déphasage ne se contrôle pas dans les cas concrets (réelles), et c'est un élément que l'on souhaite le plus petit possible (on veut $\phi=0$).

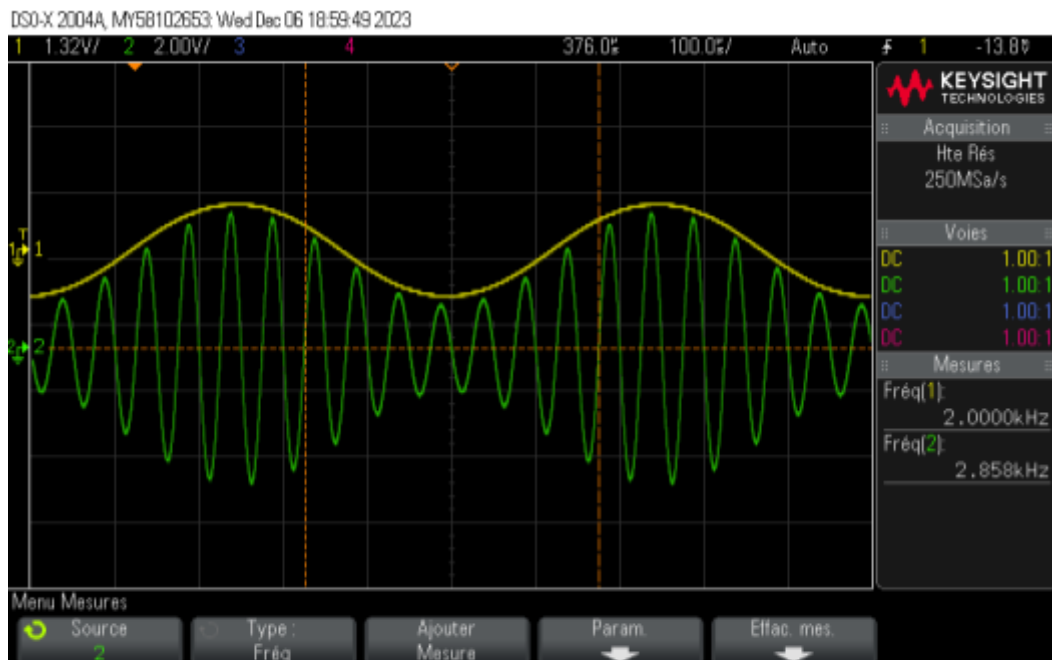
2/ Modulation d'amplitude classique

Pour respecter l'indice de modulation, il faut que l'amplitude du modulant soit faible et que la molette $\pm 1.5V$ soit à fond.

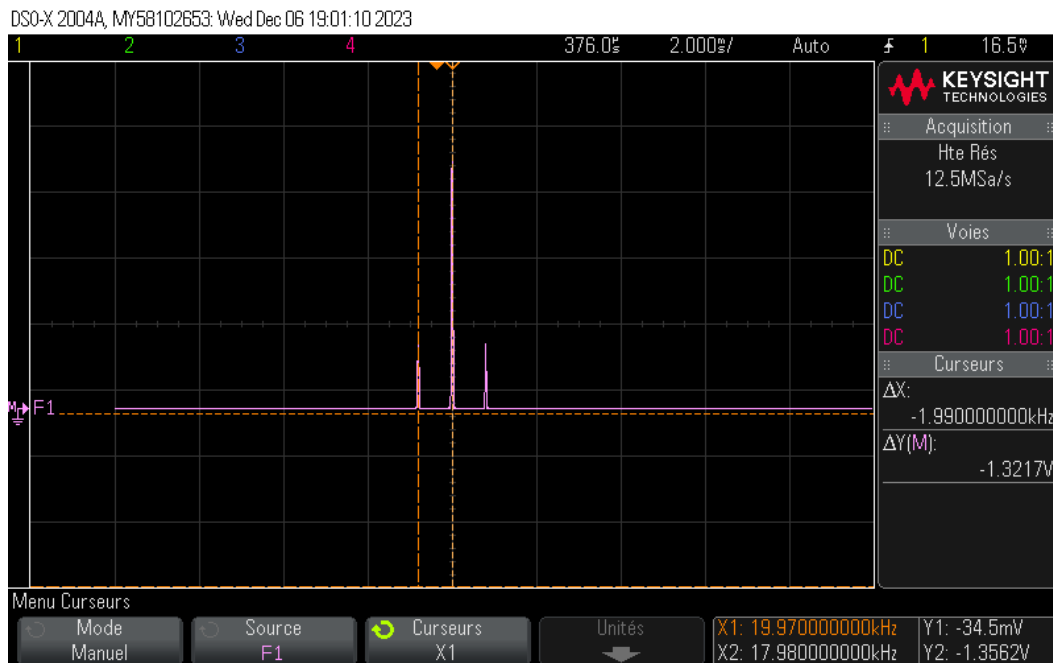
Indice de modulation : Pour démoduler correctement X_{AM} , il faut : $A + m(t) > 0 \quad \forall t$

Soit dans le cas sinusoïdal : $A - A' > 0$ ou bien un indice de modulation $\mu = \frac{A'}{A} < 1$

A) Modulation



Jaune : Signal modulant (à 2kHz) ; Vert : Signal modulé (20kHz)



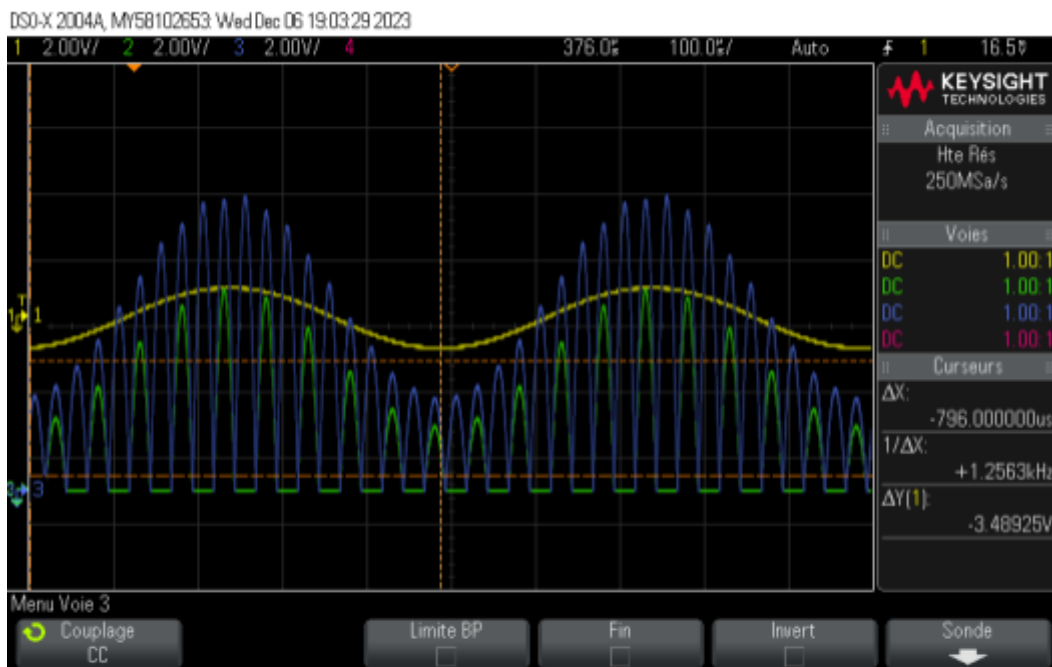
Dans le domaine des fréquences, on observe uniquement un seul pic à 20 kHz avec deux autres pics à ± 2 kHz.

A la différence de la première modulation (avec suppression de la porteuse), on module la porteuse avec non seulement un signal modulant, mais aussi un signal constant (environ 1.5V). C'est cette constante qui justifie la présence d'un pic à la fréquence de la porteuse sur la capture ci-dessus.

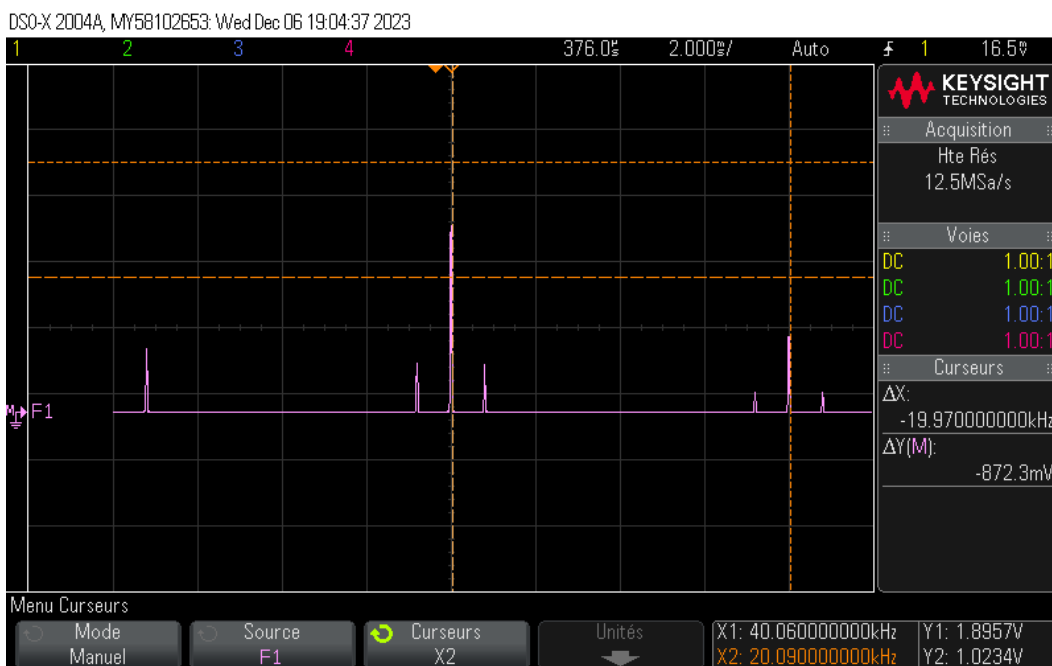
La modulation à bande latérale double est plus efficace du point de vue spectral, car elle ne transmet que les bandes latérales du signal, éliminant ainsi la nécessité de transmettre une porteuse inutile.¹

¹ A valider.

B) Démodulation



Jaune : signal modulant ; Vert : signal sortie redresseur ;
Bleu : signal sortie sommateur.



Quand on observe à l'analyseur de spectre le signal démodulé, on peut voir que ce signal possède des harmoniques à la fréquence de la porteuse (20, 40, 60... kHz), avec à plus ou moins la fréquence du modulant (2 kHz) des pics.

De plus, nous observons également que nous retrouvons après filtrage, plus facilement le signal basse fréquence avec un double redressement.

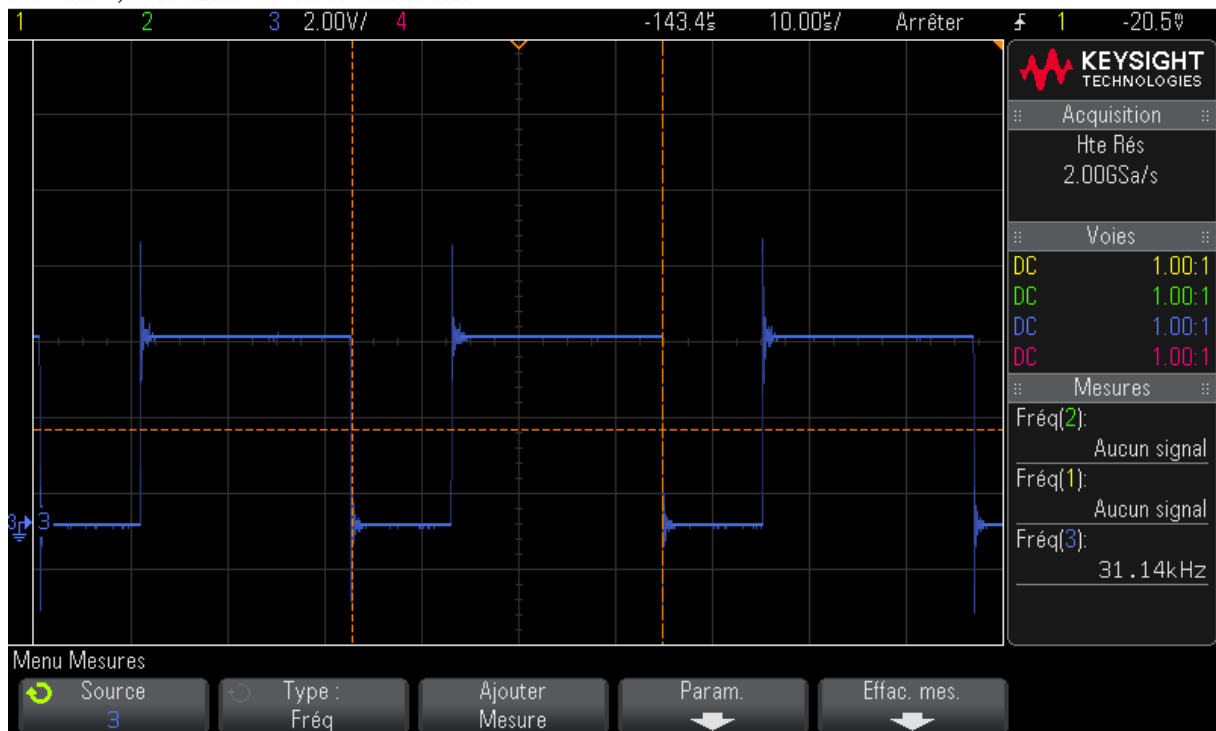
3/ Modulation de fréquence ou de phase

A) Modulation purement sinusoïdale

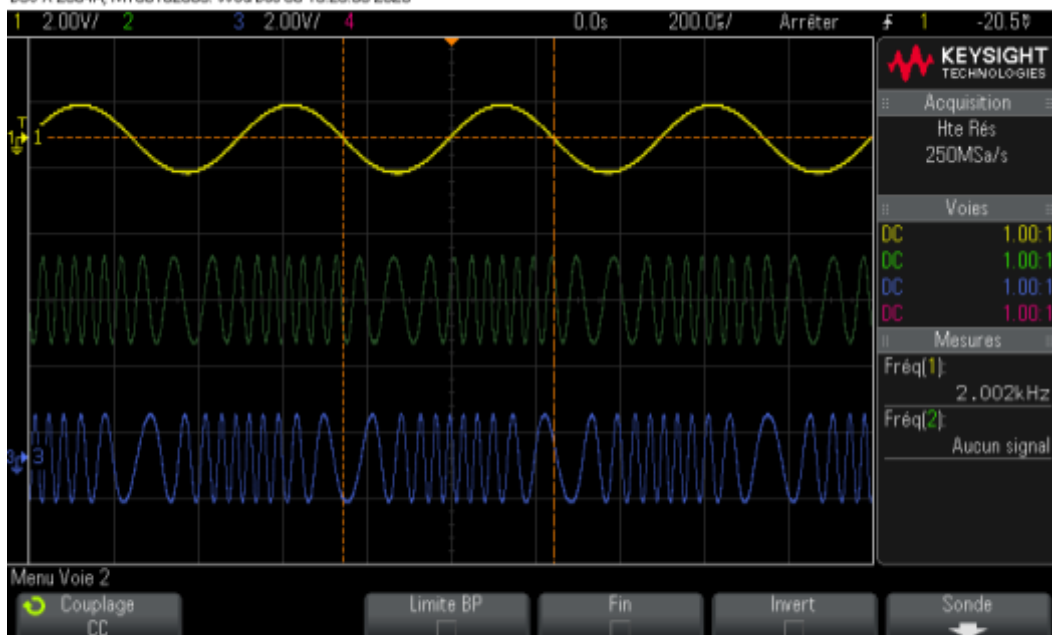
On mesure une fréquence centrale du VCO égale à 31.5 kHz (environ).

Ce qui correspond à la fréquence moyenne de la porteuse f_p .

DSO-X 2004A, MY58102653: Wed Dec 06 19:33:06 2023



DSO-X 2004A, MY58102653: Wed Dec 06 19:26:35 2023

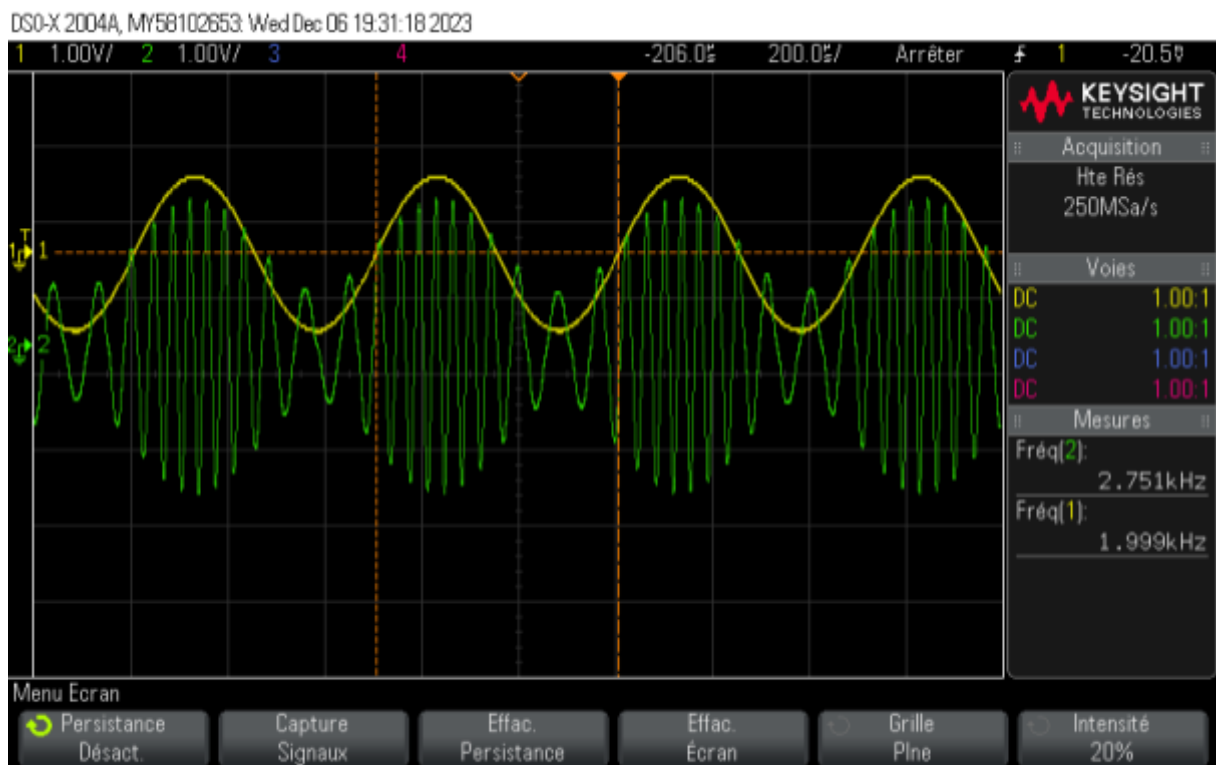


Jaune : Signal modulant ; Vert : Modulation de fréquence ;
Bleu : Modulation de phase

Sur ce graphique, nous pouvons voir la différence entre la modulation de fréquence (en vert) et la modulation de phase (en bleu).

- Pour la **modulation de fréquence**, le signal modulé ne change pas d'amplitude, mais sa fréquence change en fonction de la valeur du modulant. Quand la valeur du signal modulant est élevée, alors la fréquence du modulé (produit du modulant et de la porteuse) est élevée, à l'inverse, plus la valeur du modulant est faible, plus la fréquence sera petite.
- La **modulation de phase**, bien que similaire dans le fait que l'amplitude ne change pas, fonctionne différemment. La fréquence du signal modulé va varier en fonction de la variation de valeur du signal modulant (quand la valeur diminue, la fréquence diminue ; la fréquence du modulé augmente quand la valeur du modulant augmente). On peut dire que la modulation de phase est la dérivée de la fréquence.
De plus, la phase étant la dérivée de la pulsation. (Donc de la fréquence). Pour une phase nulle nous avons un maxima ou minima en fréquence.

B) Démodulation par discriminateur



Jaune : Signal modulant ; Vert : Signal modulé en sortie du discriminateur

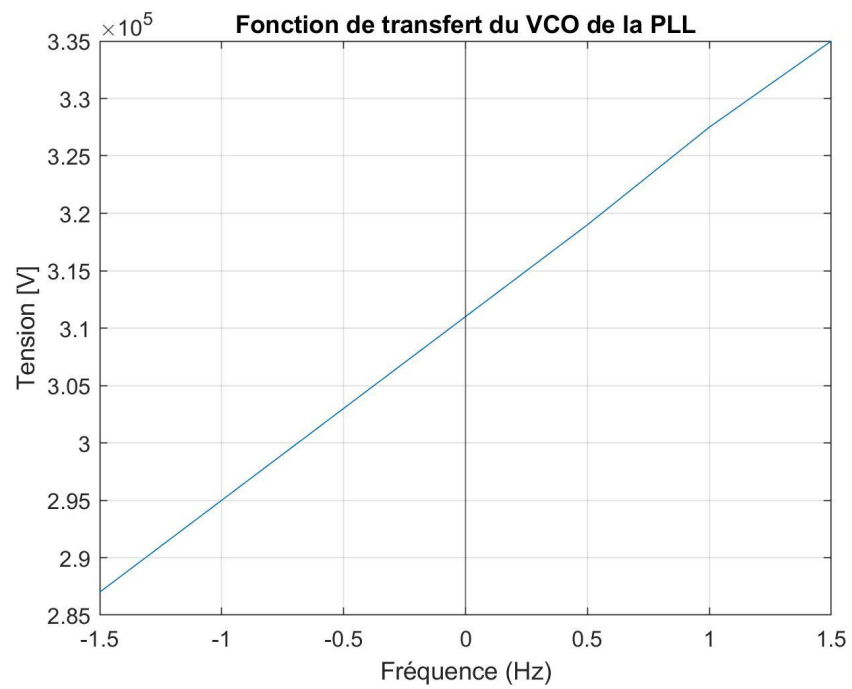
Lorsque le signal modulé en fréquence est appliqué au discriminateur, celui-ci réagit aux variations de fréquence en produisant une tension de sortie proportionnelle aux changements de fréquence du signal.

La tension de sortie du discriminateur est ensuite traitée pour extraire l'information d'origine.

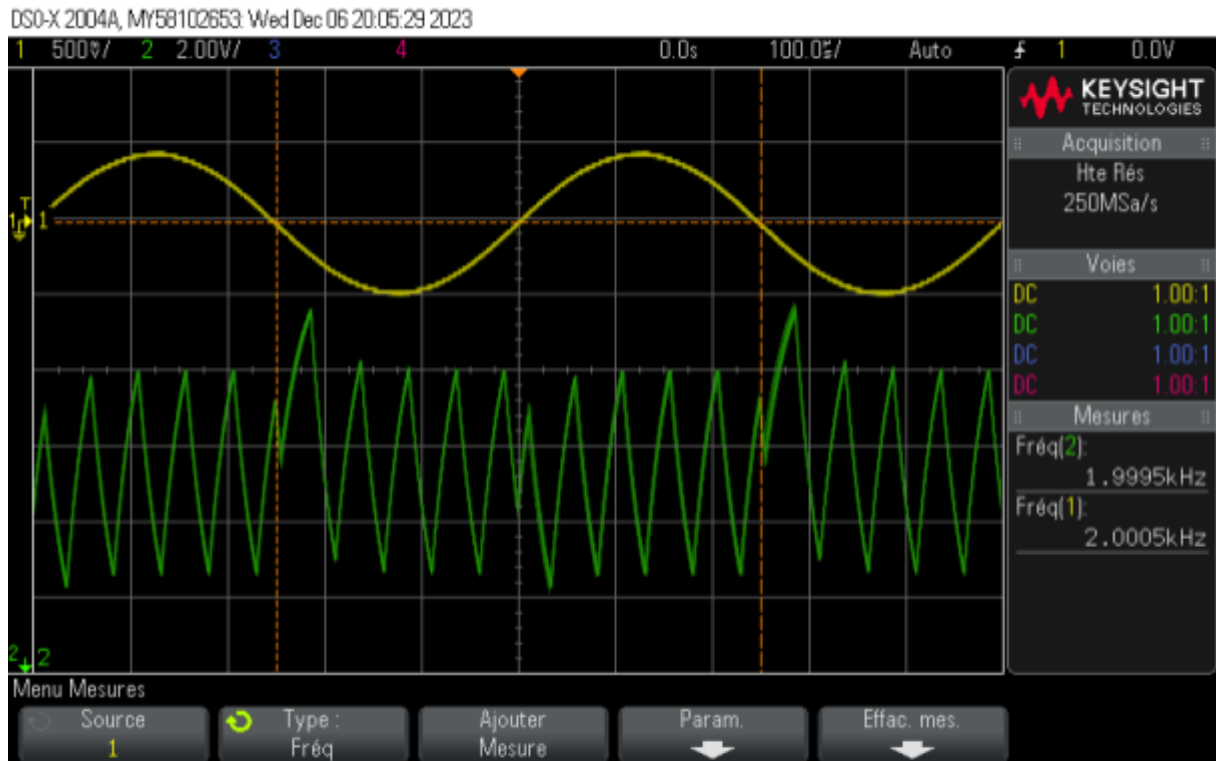
Pour la modulation de fréquence, cela implique généralement la détection des variations de fréquence pour obtenir l'information modulante.

C) Modulation par PLL

f(kHz)	33.5	32.75	31.9	31.1	30.3	29.5	28.7
V(Volt)	-1.5	-1	-0.5	0	0.5	1	1.5



Le VCO est un dispositif qui convertit une tension en une fréquence. Cet appareil a un fonctionnement linéaire, avec une fréquence seuil (fréquence centrale) pour une tension nulle. Dans notre cas 31kHz environ.



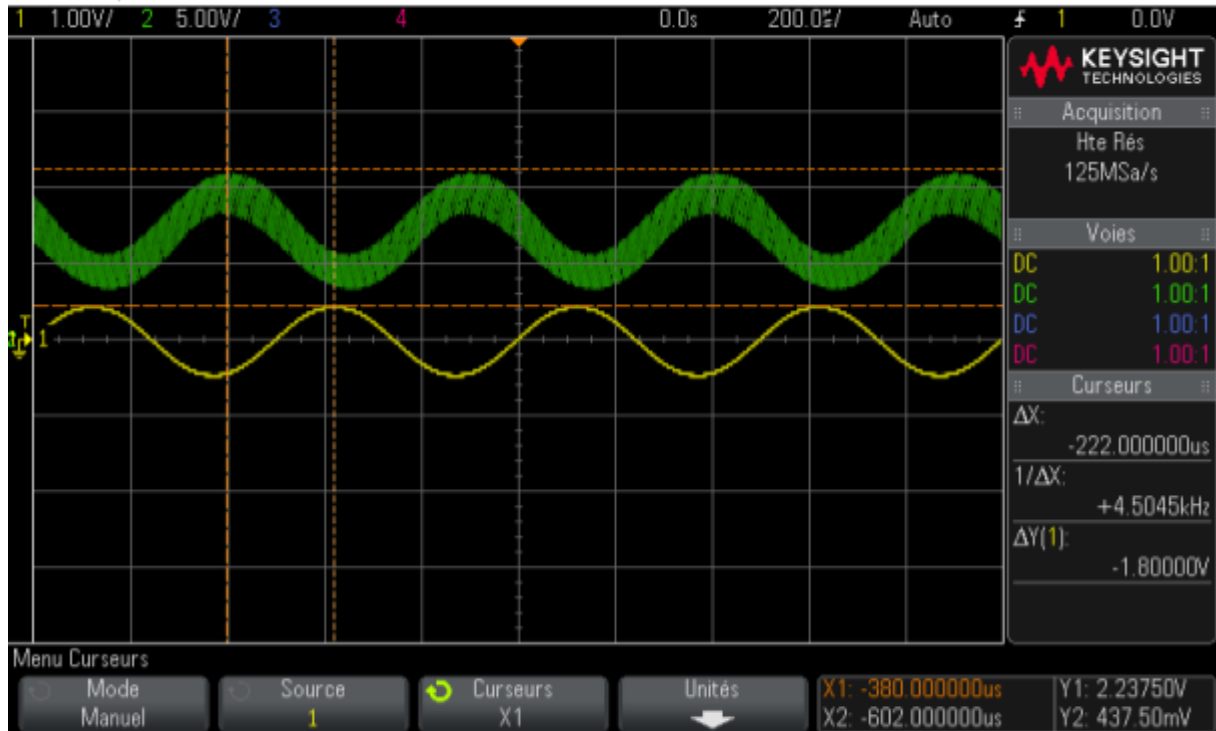
Jaune : Signal modulant (2kHz) ; Vert : Signal en sortie de la PLL non modulé

Quand nous câblons la porteuse en entrée de la PLL, nous observons une tension V_s différente de 0 : la fréquence centrale du VCO de cette PLL est de 30 kHz, or, la fréquence de notre porteuse est différente (20kHz). La tension en sortie du VCO est donc différente de zéro.

Ce signal est le résultat de la multiplication d'un signal sinusoïdal (portant) et du VCO (carré). Avant le filtrage par le RC, ce signal ressemble à un carré.

Quand on filtre la composante haute fréquence de ce signal par une capacité, alors le signal en sortie de la PLL est presque sinusoïdal.

Nous câblons la PLL avec une tension de fréquence 2 kHz.



Jaune : Signal modulant ; Vert : Signal en sortie de la PLL modulé

Comparé au signal modulant, le signal en sortie de la PLL a une amplitude supérieure à 5V, et n'est pas centré sur 0V. De plus, le signal est en opposition de phase avec le signal modulant, et l'absence de filtrage fait que la composante haute fréquence est toujours présente.