

Projet de Systèmes de Transmission

Conception d'une transmission série



Table des matières

I.	Introduction.....	3
II.	Démodulation d'amplitude	4
III.	Démodulation de fréquence	6
IV.	Démodulation FSK par comptage.....	9
V.	Utilisation d'une PLL : la boucle à verrouillage de phase.....	11
VI.	Conclusion	14

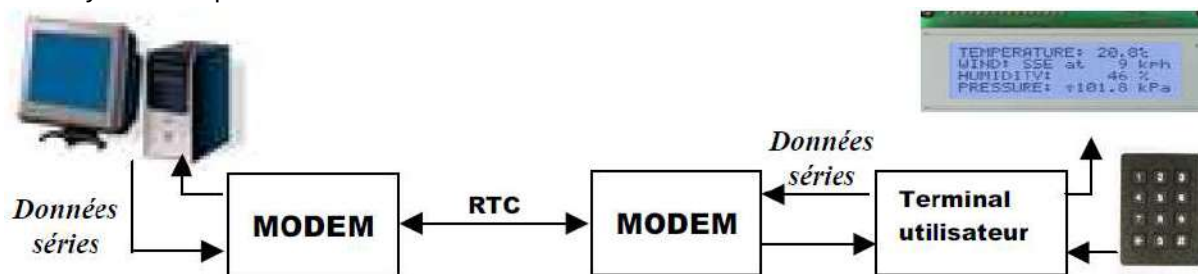
I. Introduction

La transmission de données entre l'Homme et la machine est devenue indispensable. Les nouvelles technologies et leur complexité, poussent aujourd'hui à rendre les systèmes de plus en plus simples d'accès. Ainsi la création d'une interface, d'un terminal utilisateur, est devenue primordiale.

Mais cette interface a besoin d'informations avant de les exploiter et les mettre à disposition de l'utilisateur. Ces informations doivent être transmises, relayées entre le système et son interface utilisateur (souvent appelée IHM, Interface Homme-Machine).

Comment transmettre? Sous quelle forme se propagent les données? Quelles données peut-on traiter? Cette étude a pour but de retracer et interpréter tout le déroulement d'une *conception de transmission série*.

Notre système se présente ainsi :



Nous allons étudier les *modems* (**Mod**ulateur-**Dé**modulateur) nécessaires à l'échange de nos données numériques. Entre le *serveur* (système de départ) et le *terminal* (notre IHM), se trouve un réseau identique à ceux de type téléphoniques. Dans cette liaison, on transmet des mots de 8 bits accompagnés d'un *bit de start* et de *stop*, devant obéir à un protocole série sans contrôle de parité (on ne vérifie pas les données envoyées ou reçues).

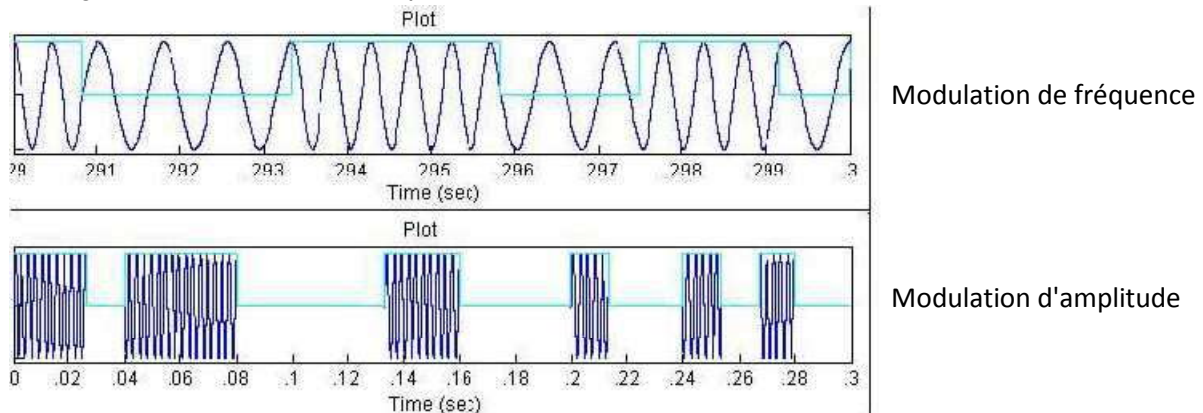
Notre réseau répond aux caractéristiques ci-dessous :

Liaison	Modulation	Porteuses	Débit
Descendante : PC → Terminal	FSK2	$f_1 = 1300 \text{ Hz}$ $f_0 = 2100 \text{ Hz}$	1200bps
Montante : Retour	ASK	390 Hz	75bps

Dans ce tableau, nous trouvons les signaux de sortie ASK et FSK qui correspondent respectivement à la modulation d'amplitude et de la fréquence de porteuses sinusoïdales par des messages binaires.

II. Démodulation d'amplitude

Nos signaux de base à obtenir se présentent sous cette forme :



Notre modulation s'effectue en multipliant un *signal sinusoïdal* à un *générateur de mot binaire*. Nous avons donc tenté de produire ce message binaire modulé en vue d'une transmission. Comme nous l'avons vu dans les caractéristiques, nous avons besoin de ce signal "montant".

Nous effectuons donc, dès lors, une démodulation en *amplitude* : ASK.

➤ Message binaire

Notre message généré (que l'on nomme $x(t)$) se présentait aléatoirement sous la forme d'un mot de 10 bits transmis à 75 bits/seconde dans un premier temps. Il est à l'état haut à 1Volt, bas à 0V.

➤ Porteuse

Notre signal porteur à moduler est une sinusoïde à fréquence $f_p = 390 \text{ Hz}$.

➤ Signal modulé en amplitude

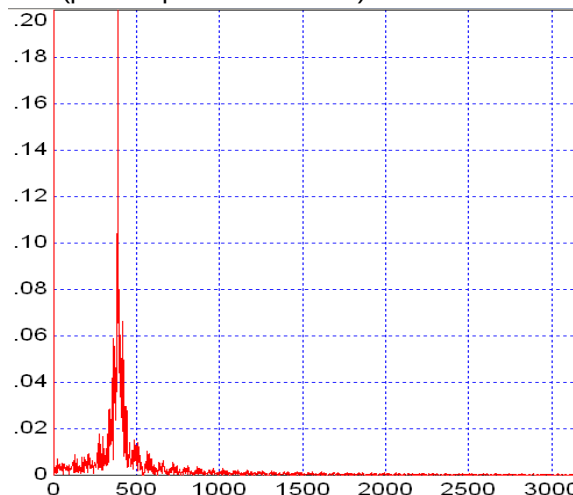
Notre signal "montant" binaire, que nous nommons y_{ASK} , se propage suivant la fonction :

$$y_{ASK}(t) = x(t) \cdot \cos(2\pi f_p t)$$

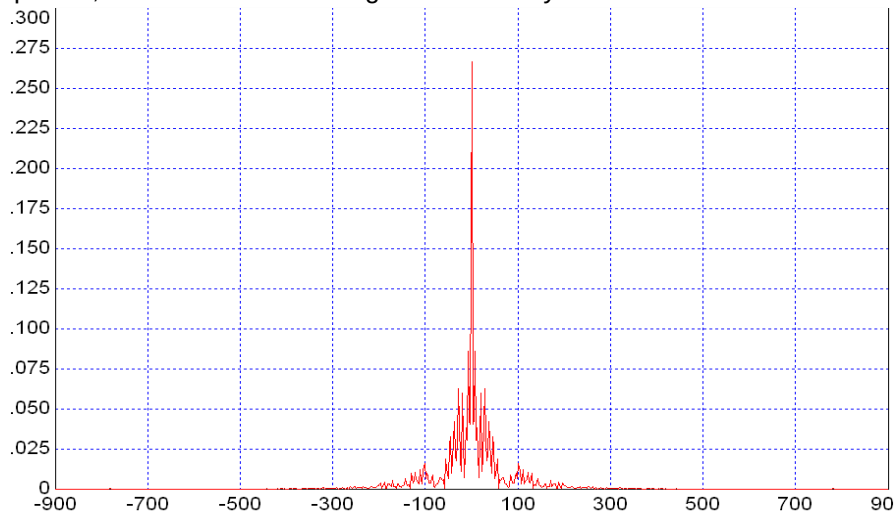
Mais nous mettons le signal au carré afin d'avoir un signal binaire (voir chronogramme):

$$y_{ASK}(t) = \frac{1}{2}x^2(t) + \frac{1}{2}\cos(4\pi f_p t)$$

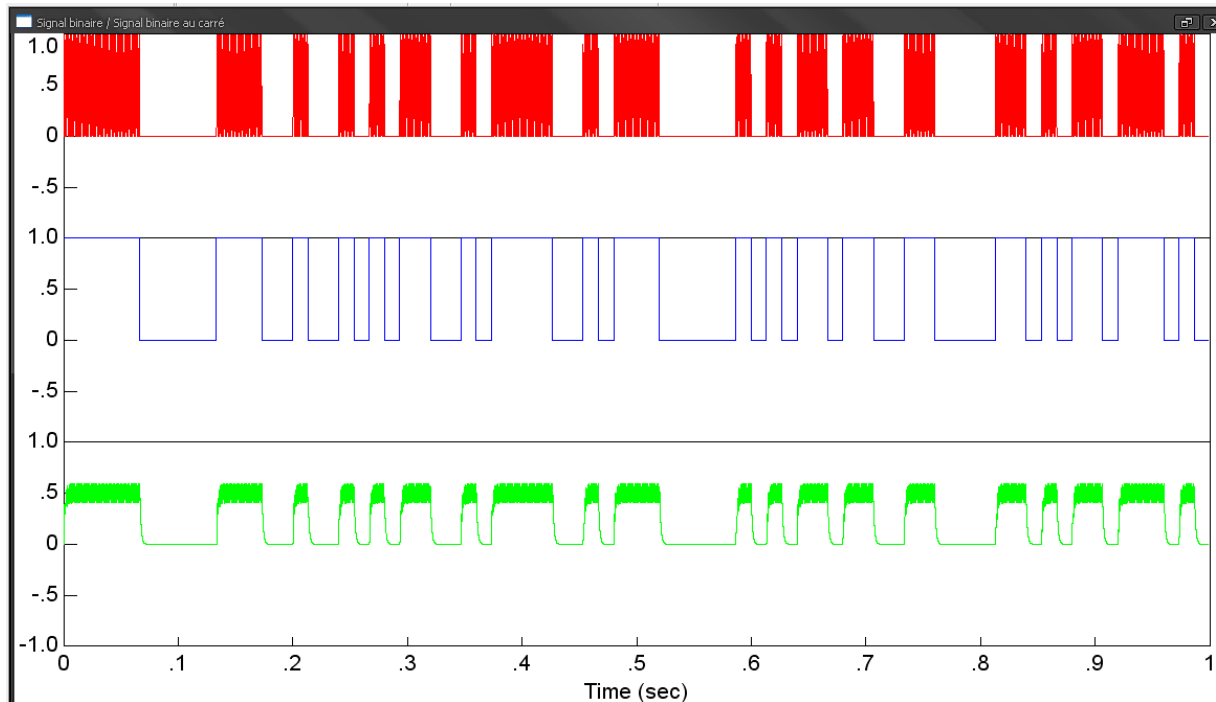
Voici son *spectre de fréquence* (pic à la porteuse 390 Hz) :



Puisque nous avons maintenant un signal numérique, ne devons retrouver le signal modulant uniquement. Nous avons donc enlevé les raies latérales à 800 Hz et avons centré le signal grâce à un *filtre passe-bas d'ordre 3* ayant une fréquence de coupure $f_c = 150 \text{ Hz}$. Voici le relevé du signal modulé en amplitude, filtré et donc recentré grâce à notre système de détection :



Et voici finalement les chronogrammes des signaux que nous obtenons :



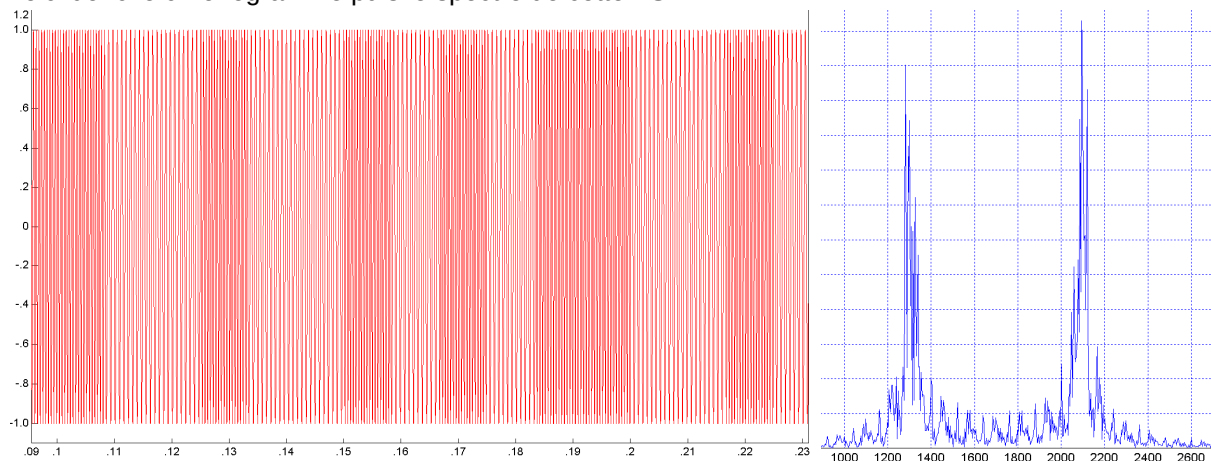
Le signal **binaire au carré**, Le signal **binaire d'origine**, et le signal **binaire carré filtré**, notre modulation est pratiquement parfaitement démodulée !

III. Démodulation de fréquence

Nous avons effectué un premier "Modem en ASK", il nous faut maintenant concevoir le second : c'est un FSK, démodulateur en fréquence, correspondant au signal de "descente"... Notre modulation en FSK est en réalité la combinaison de notre générateur de mot binaire et de deux signaux sinus de fréquences porteuses différentes.

Tout d'abord, nous avons produit un signal pseudo-aléatoire (appelé PN séquence) d'un *mot de 10 bits* avec un débit de *120 bits/s*, permettant de moduler les deux porteuses nommées f_0 et f_1 respectivement à *1300* et *2100 Hz*.

Voici donc le chronogramme puis le spectre de cette FSK :



On distingue clairement les changements de fréquence ainsi que les deux raies des porteuses.

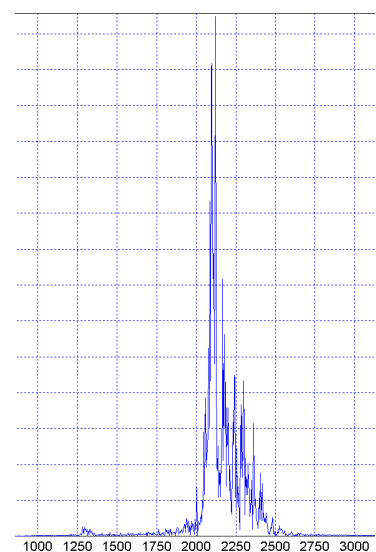
On remarque qu'en plaçant un filtre passe bande centré sur la fréquence la plus élevée, on obtiendra un signal proche du signal FSK, et on coupera la seconde fréquence (la plus faible). Nous nous ramenons ainsi au problème précédant.

Comme précédemment, il s'agit maintenant de distinguer le signal modulant du reste du spectre. Pour cela, il nous faut isoler la porteuse de fréquence *2100Hz* en appliquant un *filtre passe-bande d'ordre 4* et de fréquences de coupures s'approchant au maximum de cette dernière.

La première porteuse à *1300 Hz* doit donc être supprimée du spectre, le filtre débutera donc à *1900Hz* et terminera à *2400Hz* pour entourer la seconde fréquence de coupure se trouvant à *2300 Hz*.

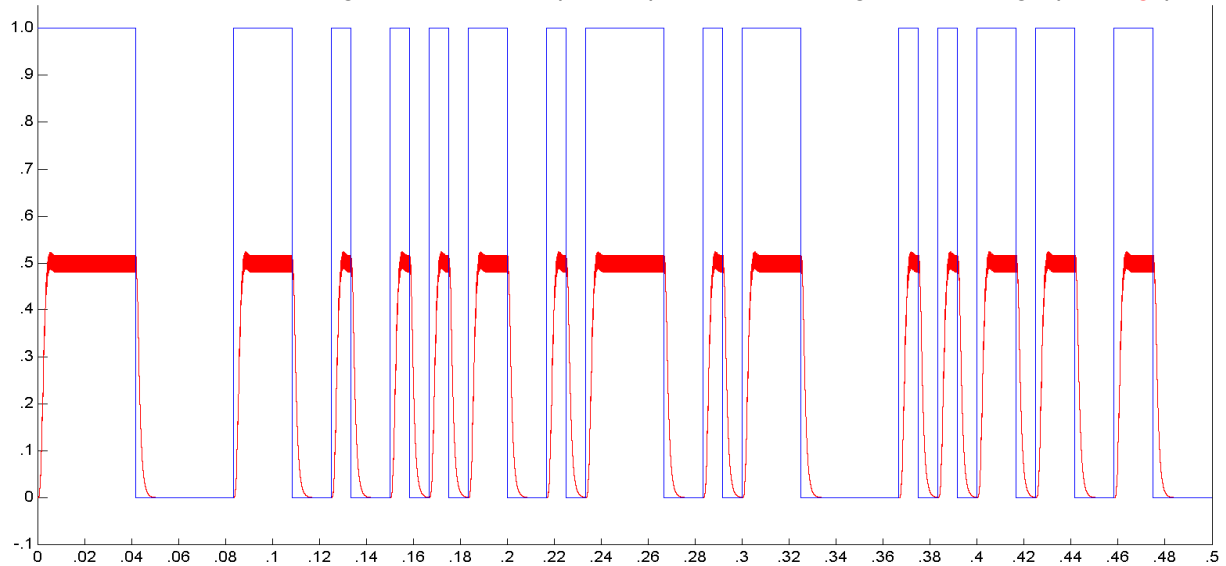
Ces paramètres permettent de garder un signal assez fidèle malgré son filtrage, ainsi que de retrouver la raie de fréquence centrale à *2300Hz* sans qu'elle soit affectée par le passe-bande (voir spectre)

Il reste un très petit début de raie à *1300Hz* dû à l'imperfection du filtre. L'ordre 4 de ce dernier permet déjà largement de considérer ce pic comme nul.



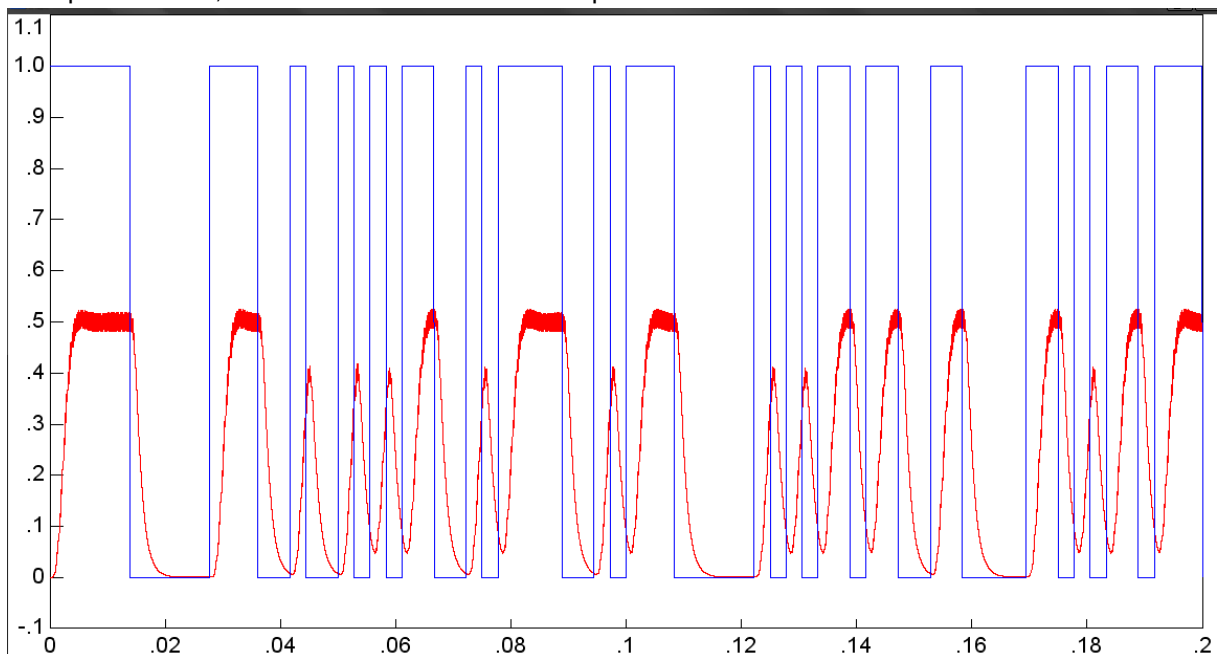
Maintenant que nous possédons le signal filtré modulé, nous pouvons effectuer la fonction de démodulation avec détection quadratique que nous avons étudiée auparavant!

Voici donc le relevé des signaux : modulant (en **bleu**) et celui détecté grâce au filtrage (en **rouge**).



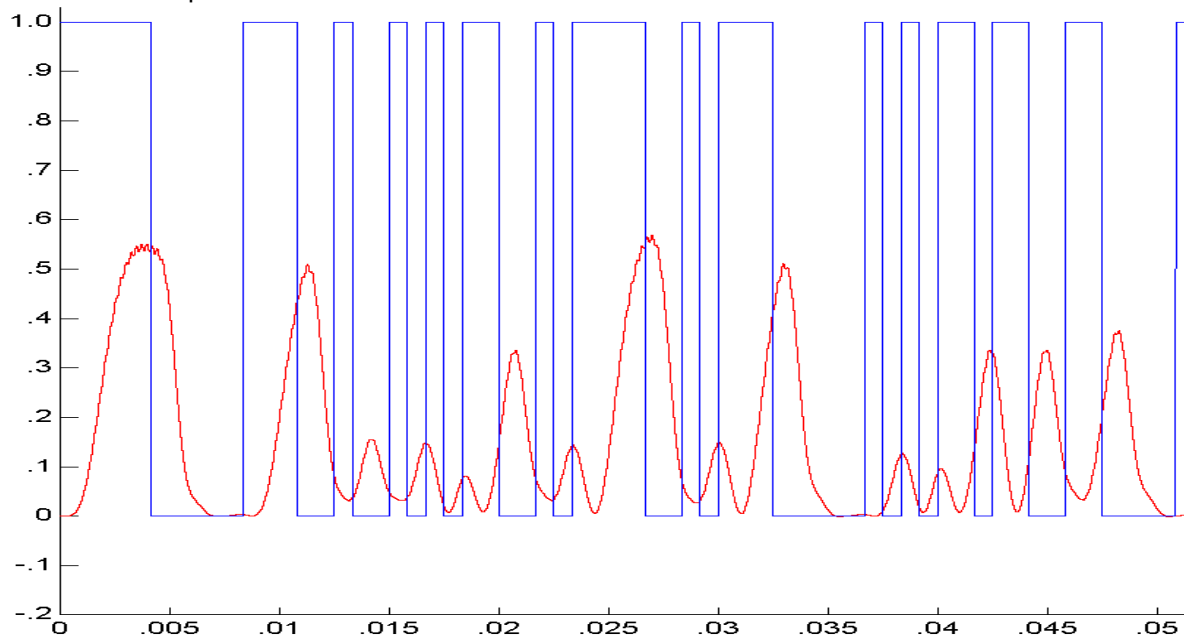
Nous désirons après ces quelques réglages, mettre en application notre système sur les Modems V23! Pour cela, nous avons besoin de transmettre en 1200bits/sec. Le problème reste la synchronisation et la fidélité du rendu après transmission!

Voici pour illustrer, le résultat d'une démodulation pour un débit de 360b/s

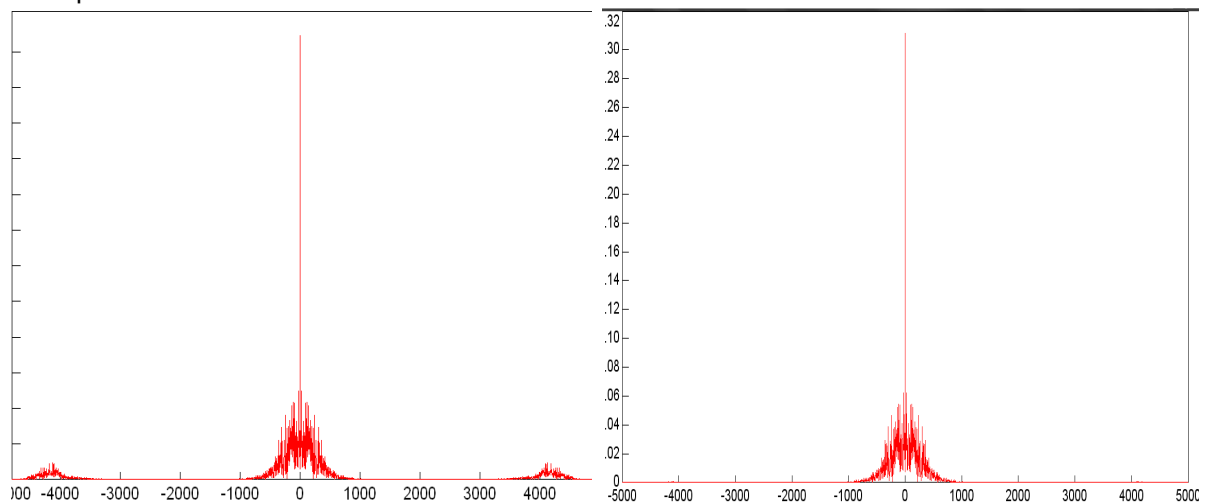


On observe déjà le besoin de synchroniser le signal à la cadence du débit à celui de la porteuse.

Voici le résultat pour le débit de 1200b/s demandé :



Nous optimisons la détection :



Ordre 2 : on observe encore des raies latérales

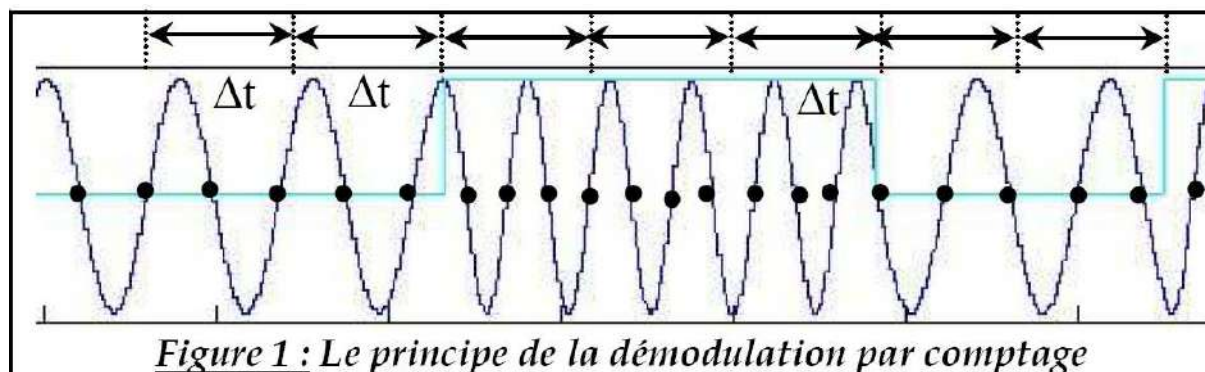
Ordre 3 : les raies latérales ont disparues

A l'issue de cette première étude, nous avons réussi à concevoir un système capable de démoduler le signal FSK au niveau de l'utilisateur et de discuter de ses limites dans le cas d'une transmission de norme V23.

Nous allons maintenant étudier deux autres possibilités de démodulation afin de conclure sur notre dispositif opérationnel final. Ces deux techniques -qui visent la mesure d'une fréquence- sont :

- ✓ Le principe d'un comptage des transitions du signal modulé
- ✓ L'asservissement de fréquence grâce à une boucle à verrouillage de phase (PLL).

IV. Démodulation FSK par comptage



Nous allons donc utiliser un *compteur binaire* remis à zéro par un train d'impulsion de période Δt et cadencé par les fronts montants du signal FSK.

En premier lieu, nous ramenons notre débit de liaison à $D=120\text{b/s}$ puisque nous ne possédons pas encore la solution d'un système stable et fidèle.

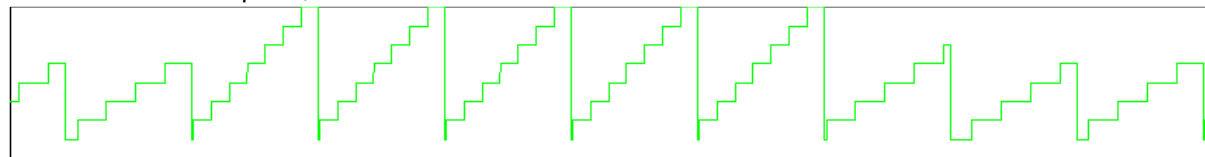
Le but est d'obtenir, à partir d'un compteur par bits, jusqu'à quel nombre d'états peut-on monter entre deux remises à zéro. La RAZ s'effectue tous les $T = \frac{1}{D} = \frac{1}{120} = 8,33\text{ ms}$. En comptant le nombre de "marches", on obtient deux états : haut et bas. On observe alors le nombre de "marches" de différence entre ces deux états : on prend le centre que l'on désigne comme le "seuil" à partir duquel on peut considérer que l'on passe de haut à bas et inversement.

Ce seuil va permettre à un de nos dispositifs de remplir sa fonction : la bascule D. Elle reproduit sa donnée D (son entrée) à chaque front montant de son horloge (ck). Elle a pour rôle de mémoriser le dernier état qu'on lui a fourni! Le nombre nommé "n" désignera le seuil.

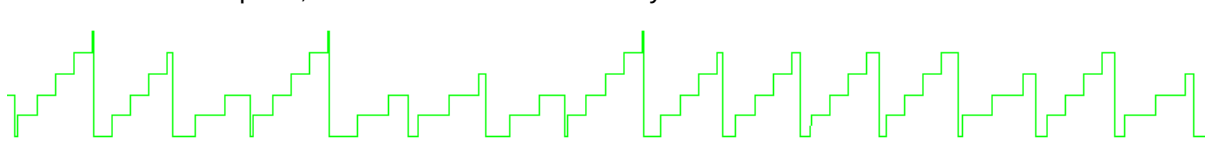
Remarque : la bascule D prend un très léger retard par rapport à l'état du signal, en réalité d'un "bit", mais un retard de 0,33ms ne se remarque pas.

Voici 3 exemples :

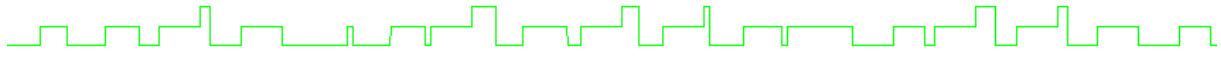
✓ À 300 b/s 5 états minimum, 7 maximum (le seuil est à $n=5$) : nous avons une différence de deux bits au compteur, c'est une différence encore valable.



✓ À 500 b/s 3 états minimum, 4 maximum (le seuil est à $n=3$) : nous avons une différence d'un seul bit au compteur, c'est la différence limite du système.

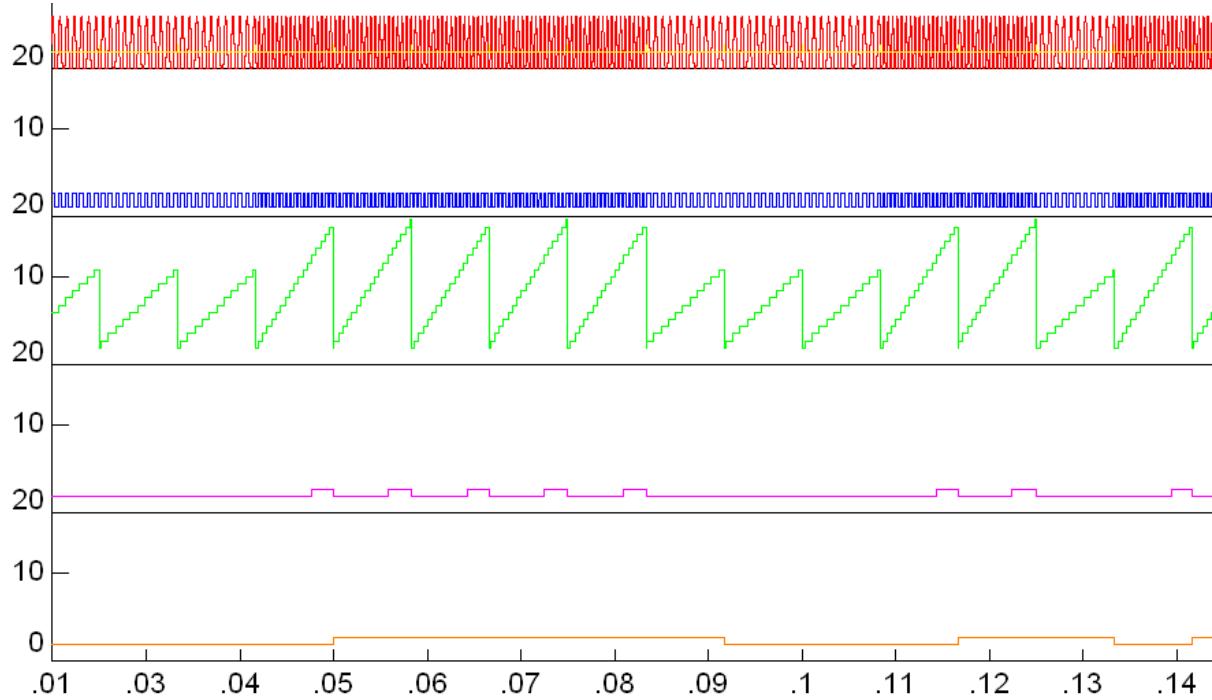


✓ À 1200 b/s Trop vite, la bascule n'a pas le temps de changer d'état.



On remarque donc qu'à grande fréquence, le compteur peut avoir une cadence trop élevée, ainsi, les informations sont déformées, erronées voir perdues.

Voici la démodulation de FSK par comptage la plus optimisée que nous ayons obtenue :



V. Utilisation d'une PLL : la boucle à verrouillage de phase

- Asservissement de phase

Dans cette partie de notre étude, il s'agissait de démoduler le signal FSK -obtenu précédemment- au moyen d'une boucle à verrouillage de phase : elle repose sur la combinaison d'un filtre passe-bas et d'un VCO.

$$\text{Fréquence centrale du VCO} = \frac{f_0 + f_1}{2} = 1700\text{Hz}$$

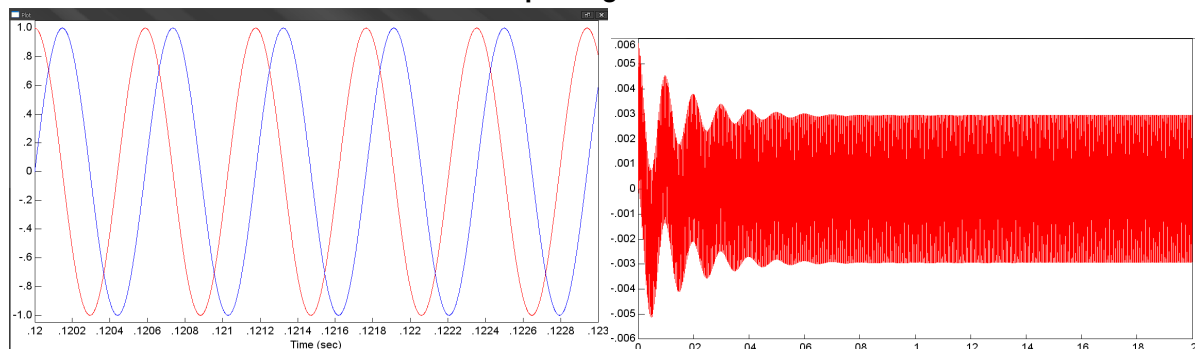
Notre PLL sera initialisée avec un filtre d'ordre 1 et de fréquence de coupure $f_c = 10\text{Hz}$.

Nous effectuons, par test, une étude par déphasages. Dans la page suivante, vous trouverez les relevés de quatre chronogrammes correspondants à un déphasage de -90° , -60° , -30° et 0° .

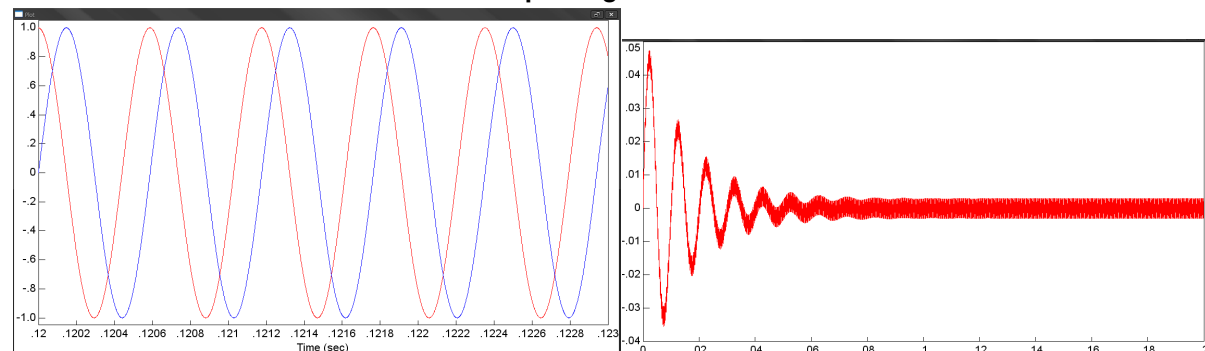
On observe facilement que le VCO tente de corriger le déphasage en oscillant autour du point de concordance : il se rapproche de zéro. Plus on s'éloigne du début de la correction, plus les signaux se figent et finissent par être synchronisés mais déphasés!

Voici les résultats des signaux, lorsque $f_0 = f_1$:

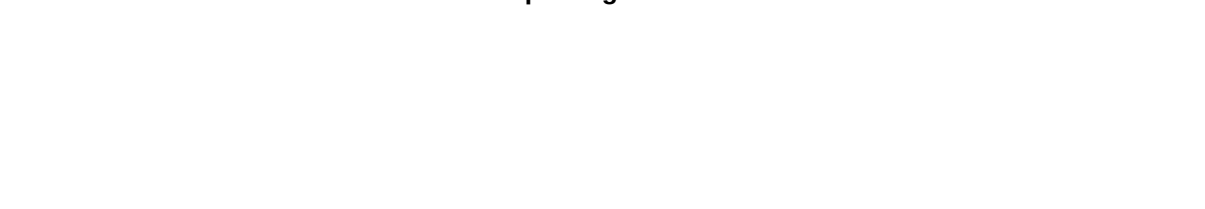
Déphasage de -90°

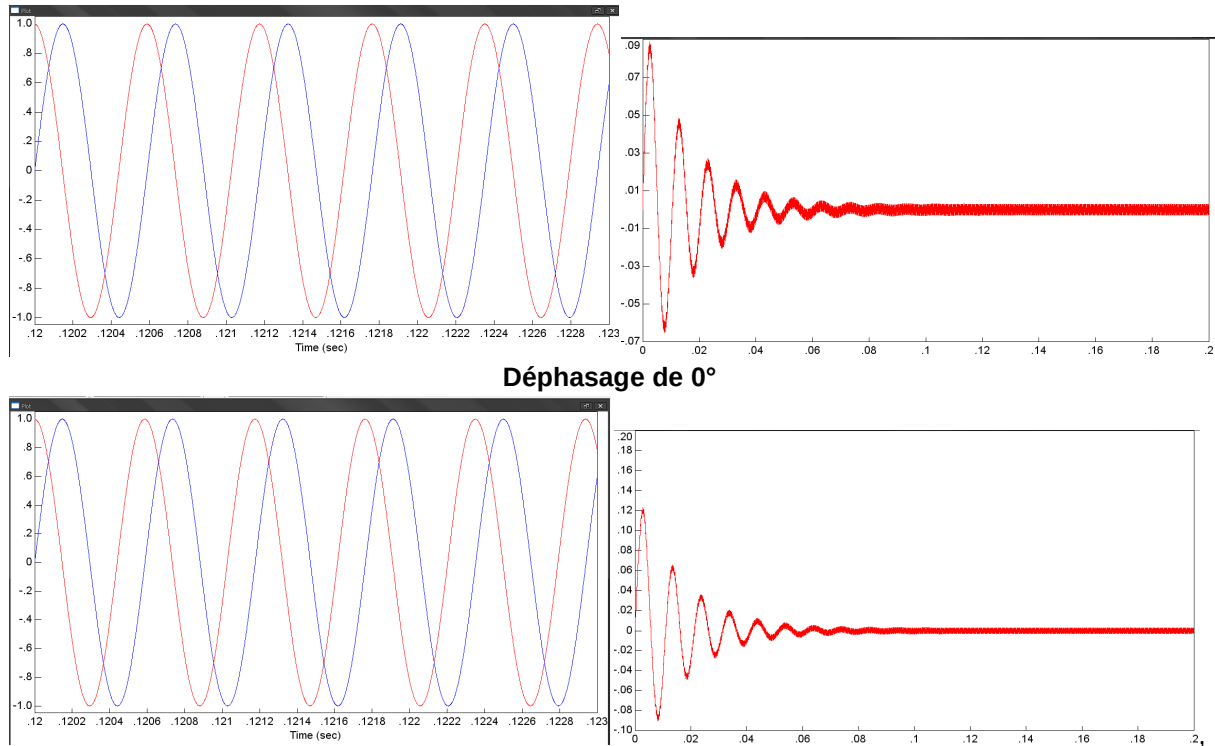


Déphasage de -60°



Déphasage de -30°





- Asservissement de fréquence

Nous allons maintenant étudier les résultats des signaux, **lorsque $f_0 \neq f_1$** . La phase du VCO est initialisée à zéro.

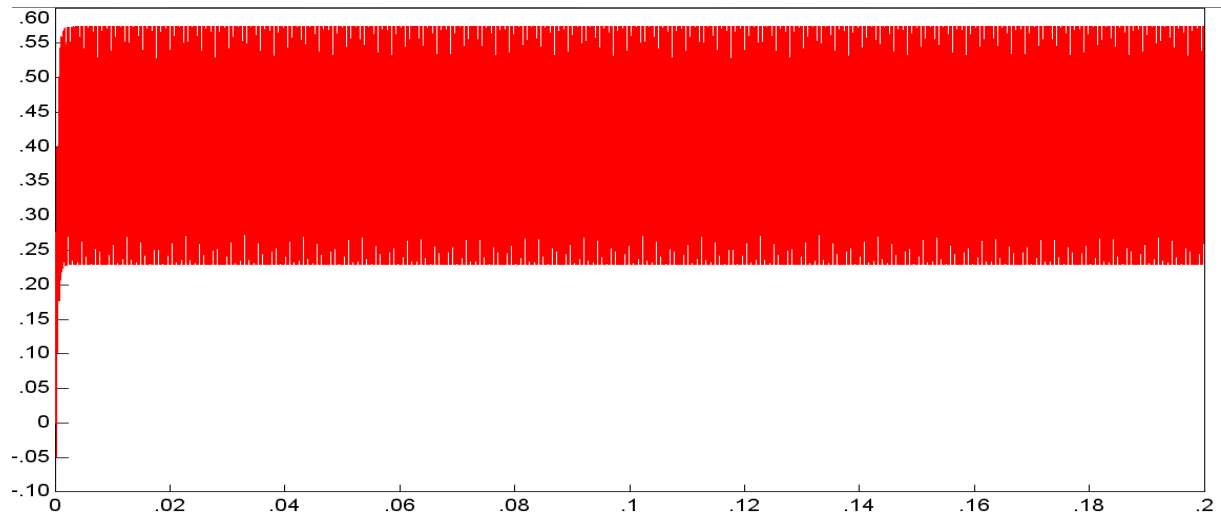
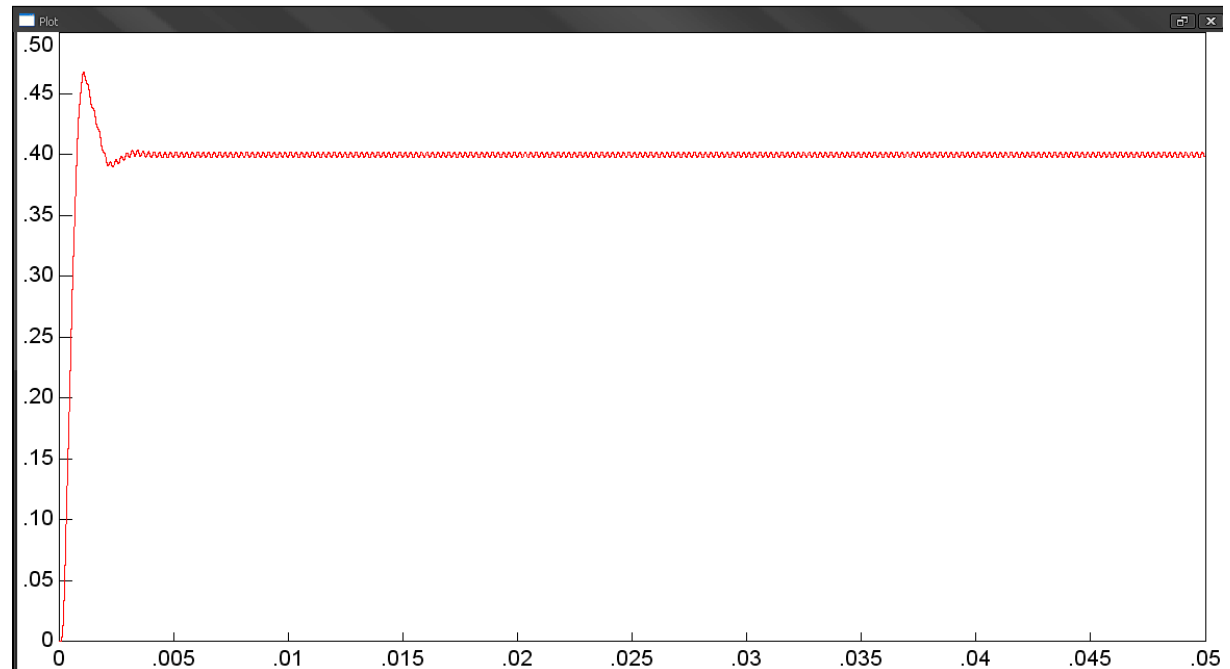
V_k , la tension de commande du VCO prend cette valeur :

$$\langle V_k \rangle = \frac{f_0 - f_1}{\text{Gain}}$$

Lorsqu'on augmente la fréquence de coupure, nous n'obtenons plus le V_k optimisé tendant vers 0.

La multiplication nous donnant deux signaux de plus et moins la fréquence du VCO (1700Hz), nous avons $2100 - 1700 = 400\text{Hz}$, $2100 + 1700 = 3800\text{Hz}$

Ainsi, nous affectons à notre passe-bas la fréquence de coupure 1500Hz, nous allons de plus augmenter l'ordre du filtre afin de préciser nos mesures :

Ordre 1 :

Ordre 5


Ainsi nous obtenons un signal optimisé, avec une grande précision grâce à l'ordre du filtre élevé.

Remarque : on a $V_k = 0,4V$ car :

$$\langle V_k \rangle = \frac{f_0 - f_1}{Gain} = \frac{400}{1000} \left(\frac{\text{fréquence restante}}{Gain} \right)$$

Après quelques simulations, nous avons obtenu un tableau récapitulatif des valeurs que prend V_k lorsque la fréquence varie de 2100 à 1300 Hz :

Fréquence	V_k
2100 Hz	+ 0,4 Volts
1900 Hz	+ 0,2 Volts
1700 Hz	+ 0 Volt
1500 Hz	- 0,2 Volts
1300 Hz	- 0,4 Volts

Ces résultats confirment l'action de la PLL, puisqu'elle permet de trouver des valeurs stables dont nous avons besoin. On remarque d'ailleurs une symétrie des mesures par rapport à la fréquence du VCO :

Lorsque l'on a une fréquence d'entrée supérieure à celle du VCO, la tension V_k est positive, négative dans le cas contraire. Ces nouvelles informations nous permettent d'affecter les valeurs de seuils à notre démodulateur FSK :

Valeur de la fréquence	Etat du signal binaire
> 1700 Hz	1
< 1700 Hz	Ø

Malheureusement, nous n'avons pas réussi à mettre en application ces paramètres, ils n'avaient aucun effet sur nos signaux, qu'ils soient à 120 ou 1200b/s...

VI. Conclusion

Une petite déception puisque nous n'avons pu mener à bien notre transmission de signal final dans les normes qui nous étaient imposées (V23).

Malgré tout, il semble que la modulation FSK soit plus qu'une évidence et une grande aide dans la transmission d'information à gros débit.

De plus, l'apprentissage des fonctionnalités poussées d'une boucle à verrouillage de phase ainsi que ces deux asservissements (amplitude / fréquence) nous a permis d'approfondir nos connaissances de systèmes et procédés électroniques élémentaires.