

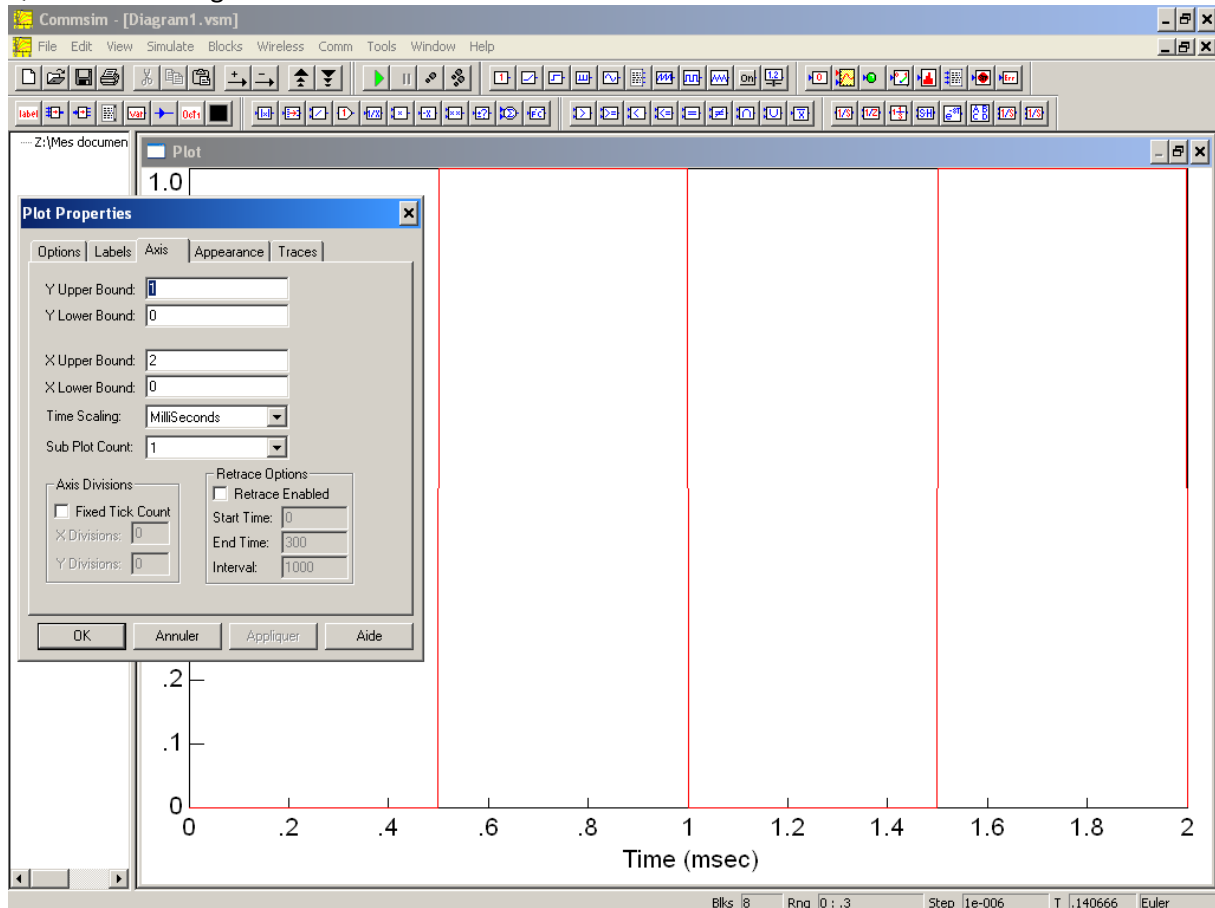
Systèmes de transmission

TP n°1 : Modulation d'amplitude et modulation de fréquence

I. Chronogrammes et spectres sous CommSim7

Paramétrage Temporel

Q1 Voici le signal obtenu:



Nous commençons la simulation à un temps $t_0=0$ secondes.

Notre pas de mesure est de 10^{-6} secondes soit $1\mu s$.

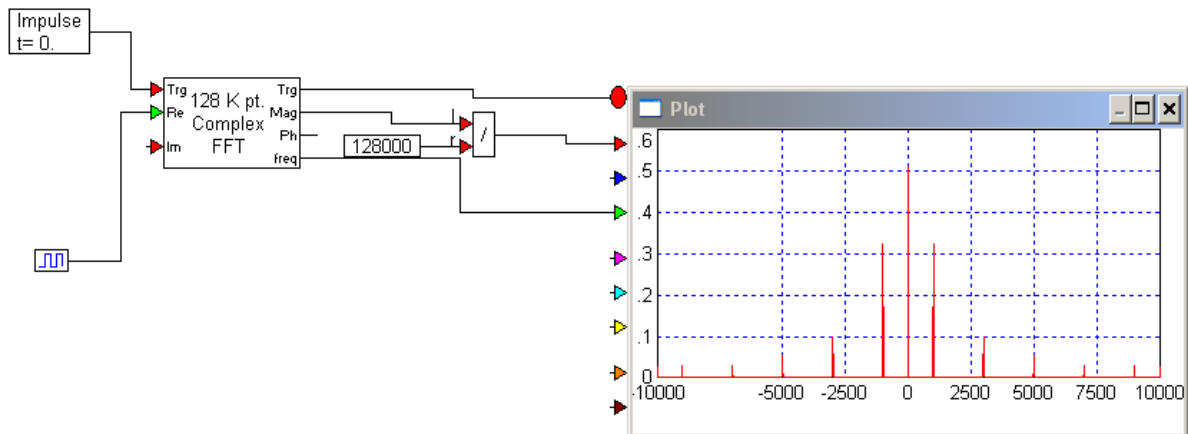
La fréquence se calcule selon $T = \frac{1}{F} = \frac{1}{1\text{ kHz}} = \frac{1}{1 \times 10^3} = 1\text{ ms}$

Afin d'obtenir deux périodes de ce signal, nous l'observons donc de 0 à 2 ms.

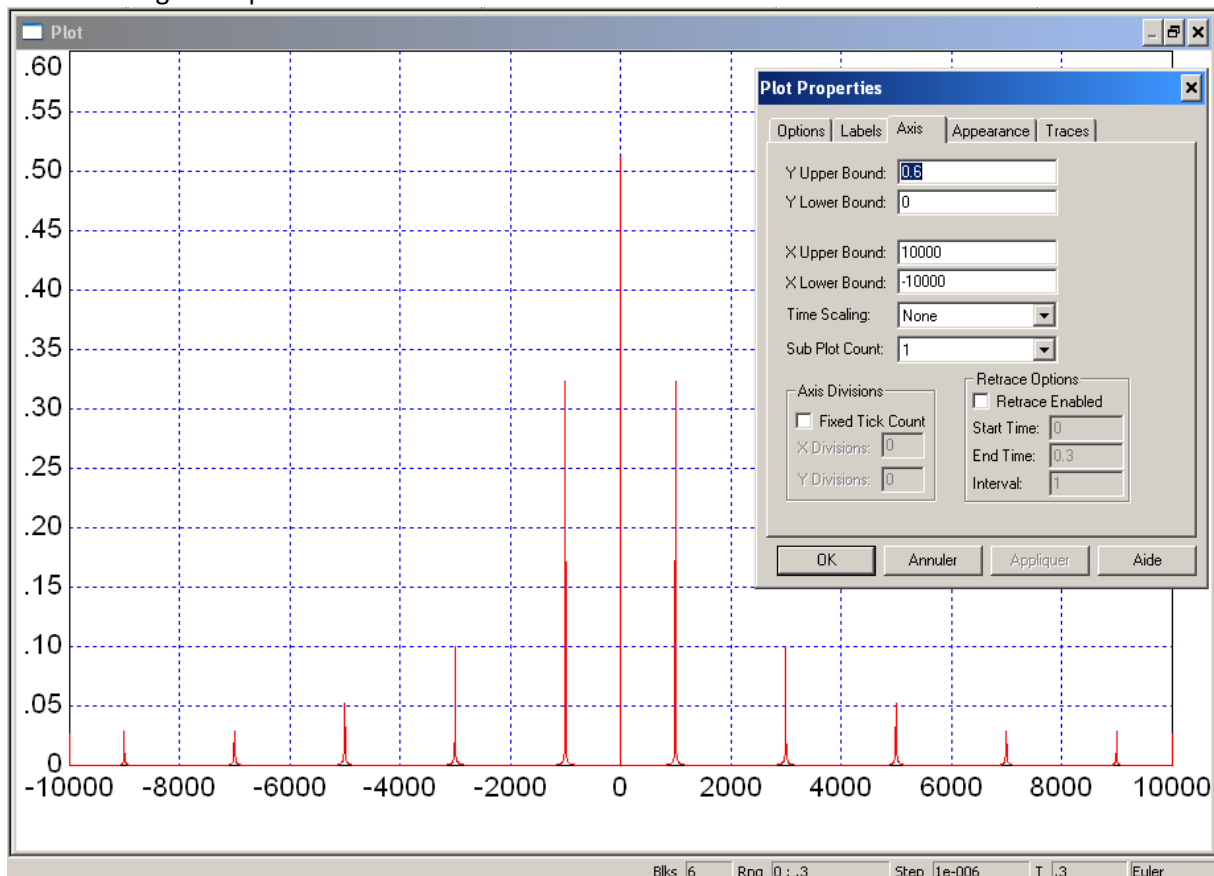
Le Time Scaling est réglé en millisecondes pour une vision fidèle à cette période.

L'amplitude paramétrée étant de 1Volt, nous l'observons dans un intervalle de 0 à 1V.

Q2



Comme indiqué, nous effectuons un échantillonnage toutes les 10^{-6} sec. Chaque point échantillon de la courbe est relié, à cette fréquence. Ainsi, effectuer un échantillonnage à 128 ms revient à représenter 128×10^3 points sur 0,3sec : c'est tout à fait justifié pour avoir une image fidèle d'un signal de période 1ms.



En recadrant notre visualisation sur $[-10\,000\text{Hz} ; +10\,000\text{Hz}]$, on distingue dans le spectre du signal plusieurs raies de fréquences situées à respectivement 9000, 7000, 5000, 3000 et 1000 Hz et leurs correspondantes en fréquence négative. La raie centrale, à 0Hz, est notre porteuse d'une amplitude d'environ 0,5 Volts.

Ces raies représentent l'amplitude des sinusoïdes qui composent le signal d'entrée.

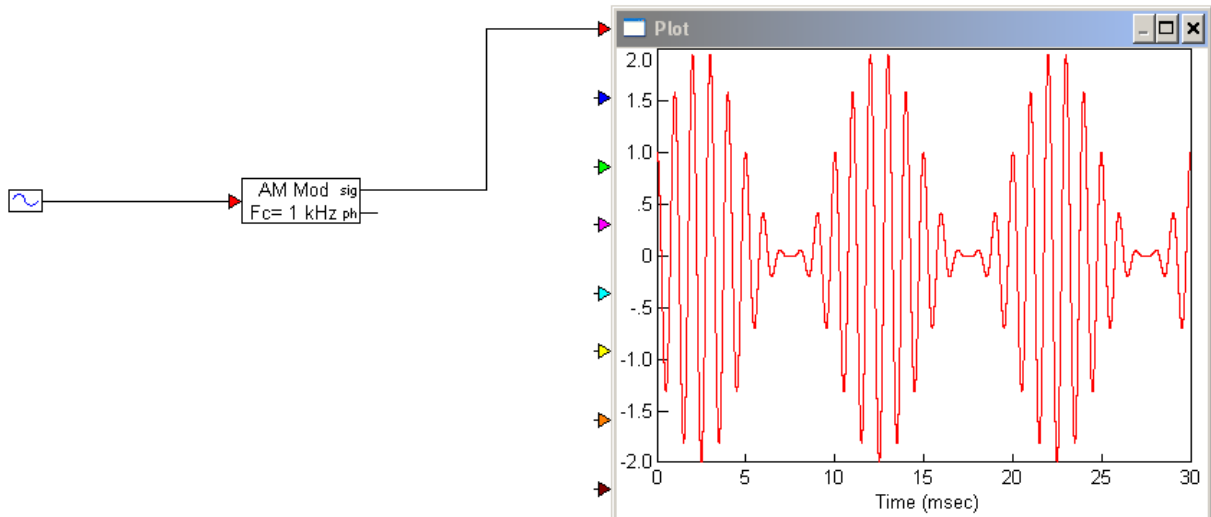
II. Analyse spectrale des signaux AM et FM

Modulation d'amplitude

Q3*

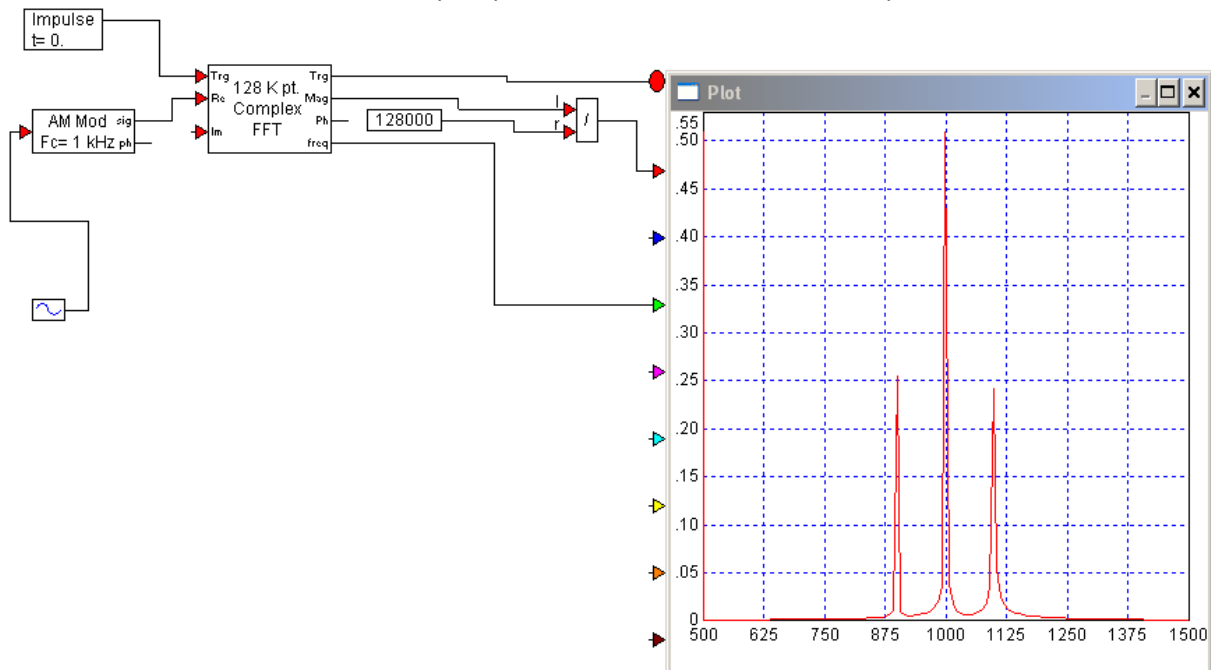
Q4

L'indice de modulation est le module avec lequel on fait varier l'amplitude du signal, ici réglé à 1.
Voici le schéma de relevé d'une source modulée AM d'amplitude 1V, d'une porteuse $f_p=1\text{kHz}$, et de signal sinusoïdal à fréquence $f_M=100\text{Hz}$.



Q5

Voici le schéma fonctionnel de l'analyse spectrale de la source AM décrite précédemment :



On peut observer que sur l'intervalle de fréquence [500 ; 1500 Hz], il apparaît clairement deux raies d'ordre 1, de part et d'autre de la porteuse de 1kHz, respectivement situées à 900 et 1100Hz.

Ces raies correspondent aux fréquences $(F_{\text{porteuse}} - F_{AM})$ et $(F_{\text{porteuse}} + F_{AM})$.

Ces observations nous ramènent à la **Série de Fourier** :

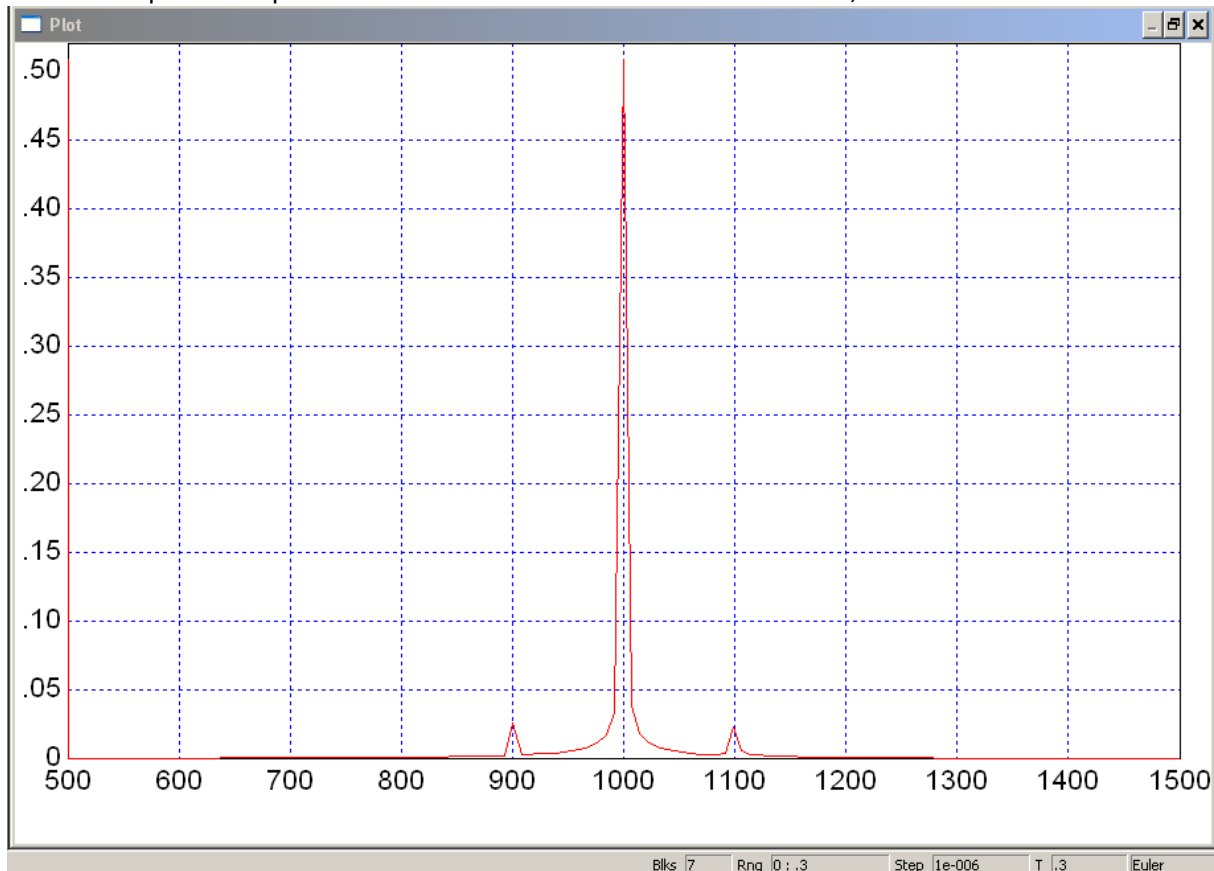
$$Y_{AM}(t) = A * \left(\cos(F_{\text{porteuse}} * t) + \frac{m \cdot \cos((F_{\text{porteuse}} - F_{AM}) * t)}{2} + \frac{m \cdot \cos((F_{\text{porteuse}} + F_{AM}) * t)}{2} \right)$$

Q6

L'amplitude des raies $+F_{AM}$ et $-F_{AM}$ a diminuée.

Après avoir simulé lorsque l'indice de modulation était de $m=1$, nous observons une amplitudes des raies de rang 1 d'environ 0,25 Volts.

Nous avons par conséquent tenté de réduire l'indice de modulation à 0,1. Nous obtenons :



Il apparait clairement que les amplitudes ont chuté : elles sont maintenant de 0,025 Volts!

On en déduit donc qu'il existe un rapport de 10 entre l'indice de modulation et l'amplitude des raies d'un signal : il permet de réduire la largeur de bande.

Modulation de fréquence

Q7*

Q8

Nous avons modulé un signal FM ayant pour fréquence 1kHz avec un message sinusoïdal d'amplitude 1V et de fréquence $F_M=100$ Hz. Nous devons effectuer la modulation avec trois indices différents : Pour $\beta=2$; 1 et 0,25. Mais β est un facteur exprimé en Volts/Hertz, et l'indice nommé λ proposé par le logiciel s'exprimait en Hertz/Volts!

Nous savons que $\beta = \lambda * \frac{x_{max}}{f_M}$

Soit $\lambda = \frac{\beta}{\frac{x_{max}}{f_M}}$ ou $\lambda = \beta * \frac{f_M}{x_{max}}$

Sachant que x_{max} est l'amplitude = 1V et que f_M est la fréquence = 100Hz : $\lambda = \beta * \frac{100}{1} = \beta * 100$

On obtient donc pour :

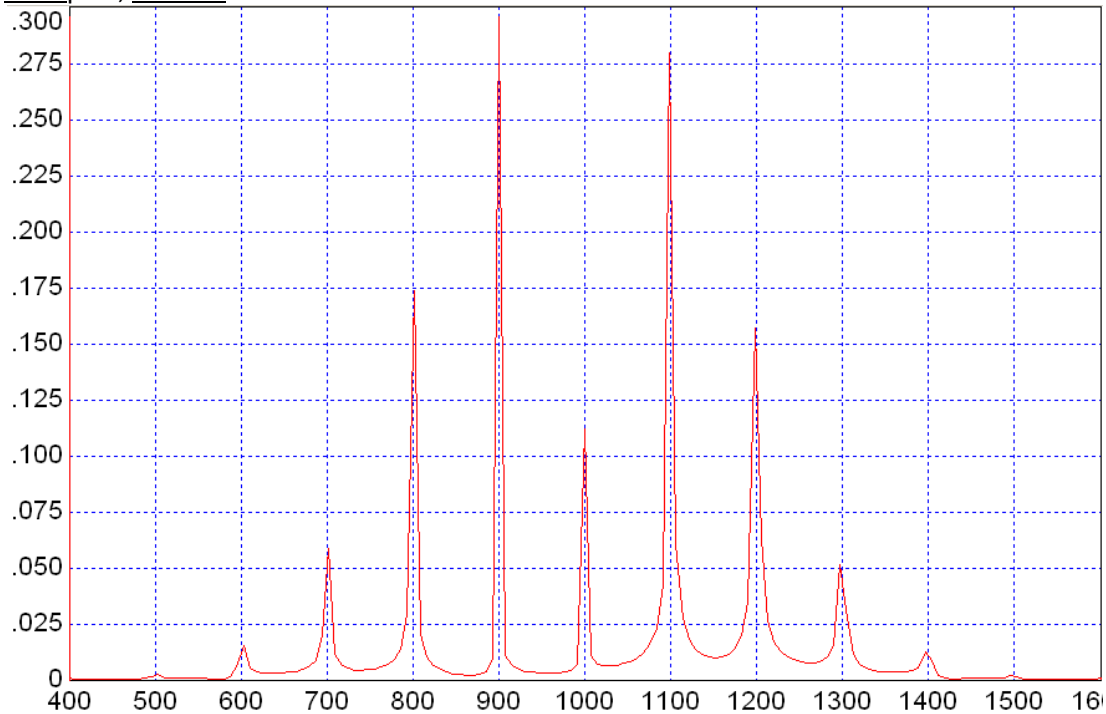
$\beta=2$; $\lambda=200$

$\beta=1$; $\lambda=100$

$\beta=0.25$; $\lambda=25$ 1.5 de part et d'autre de la freq centrale amp=environ 0.500

Voici nos relevés:

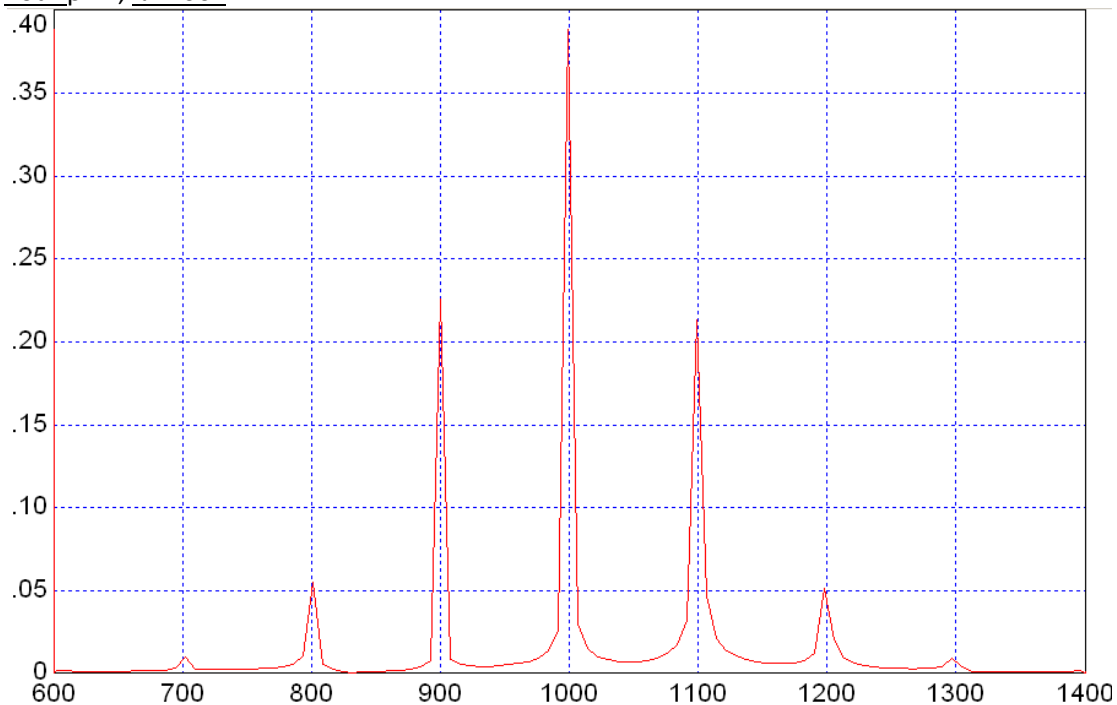
Pour $\beta=2$; $\lambda=200$:



On distingue 5 raies de part et d'autre de la fréquence centrale : **Ordre 5**

Cette même raie centrale a une amplitude d'environ 0.380 Volts.

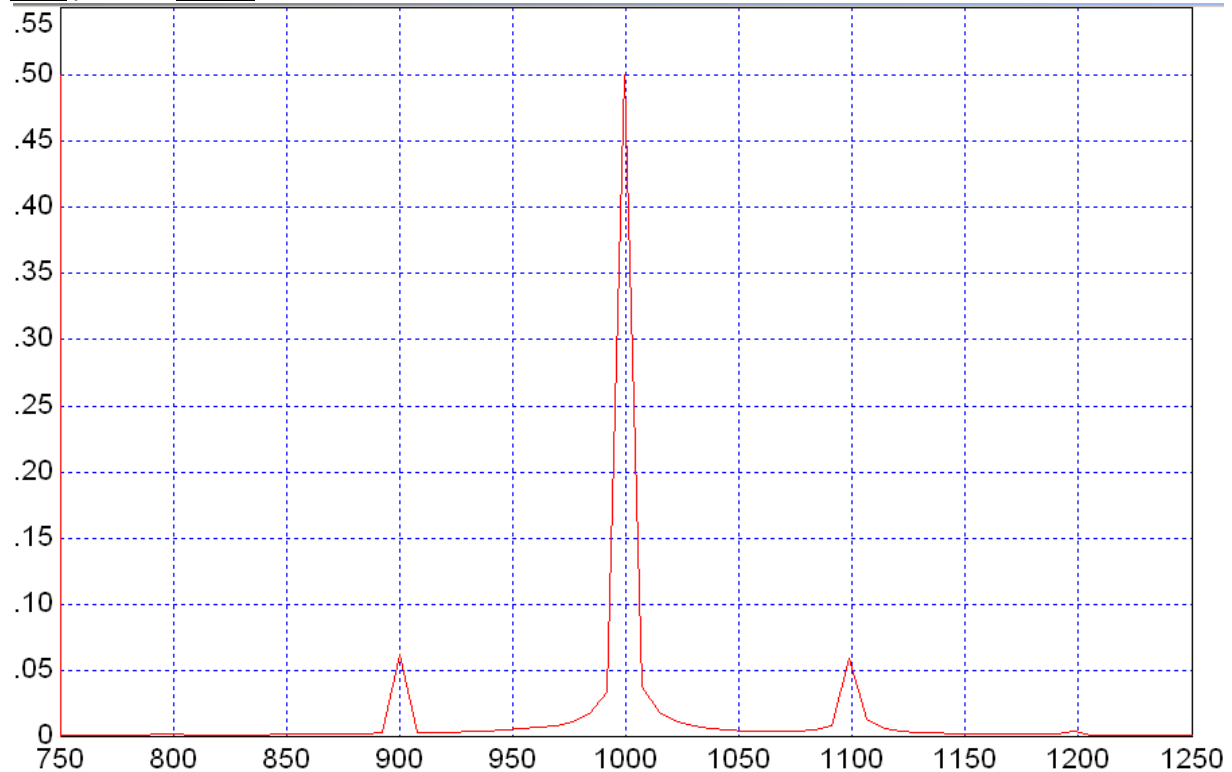
Pour $\beta=1$; $\lambda=100$:



On distingue 3 raies de part et d'autre de la fréquence centrale : **Ordre 3**

Cette même raie centrale a une amplitude d'environ 0.112 Volts.

Pour $\beta=0,25$; $\lambda=25$:



On distingue pratiquement 2 raies de part et d'autre de la fréquence centrale : **Ordre 2**
Cette même raie centrale a une amplitude d'environ 0.500 Volts.

On remarque que plus β (ou λ) est élevé, plus la largeur de bande s'agrandie.

D'après le tableau de Bessel, à $\beta = 1$, les raies J0, J1, J2, J3 sont conservées. Soit une bande passante de $[F_{\text{porteuse}} - 3f_M \text{ à } F_{\text{porteuse}} + 3f_M]$: c'est ici bien vérifié!

Q9

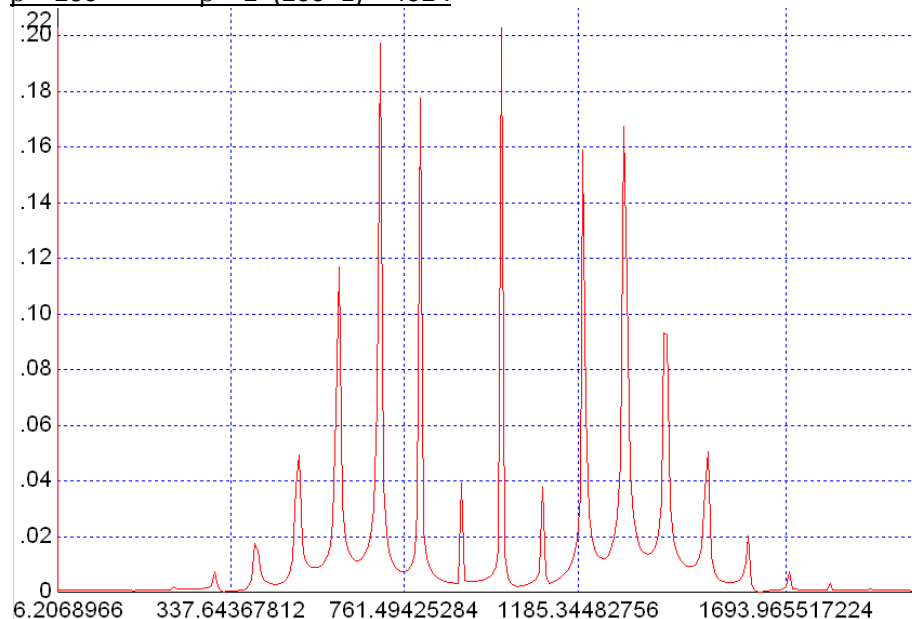
Pour la bande de Carson, l'encombrement spectral est en réalité donné par la règle suivante :

$$\beta = 2 (\Delta f + F)$$

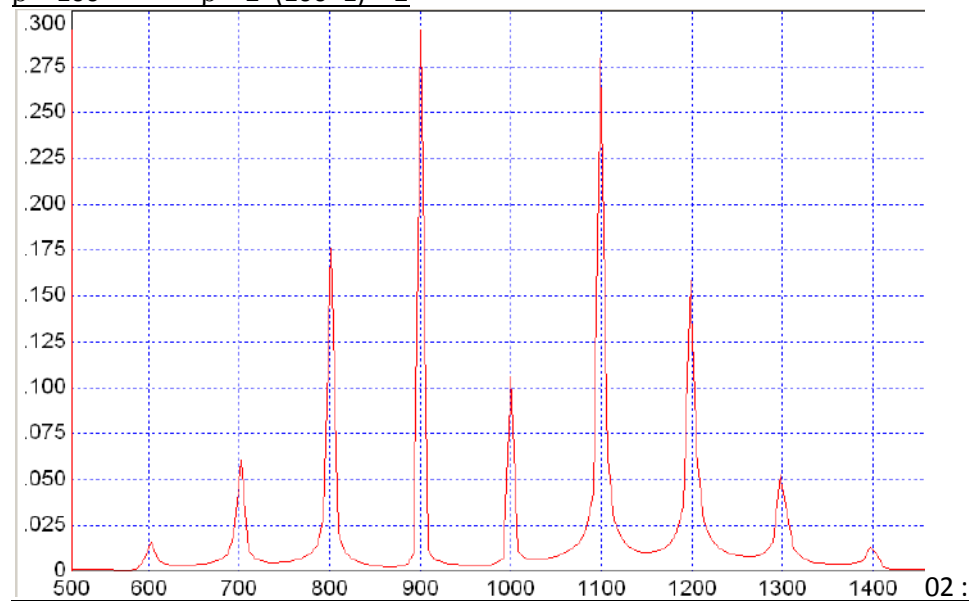
Comme l'indique l'énoncé, chaque spectre a donc un coefficient différent :

$$\beta = 2 * (\beta + 1) F_M$$

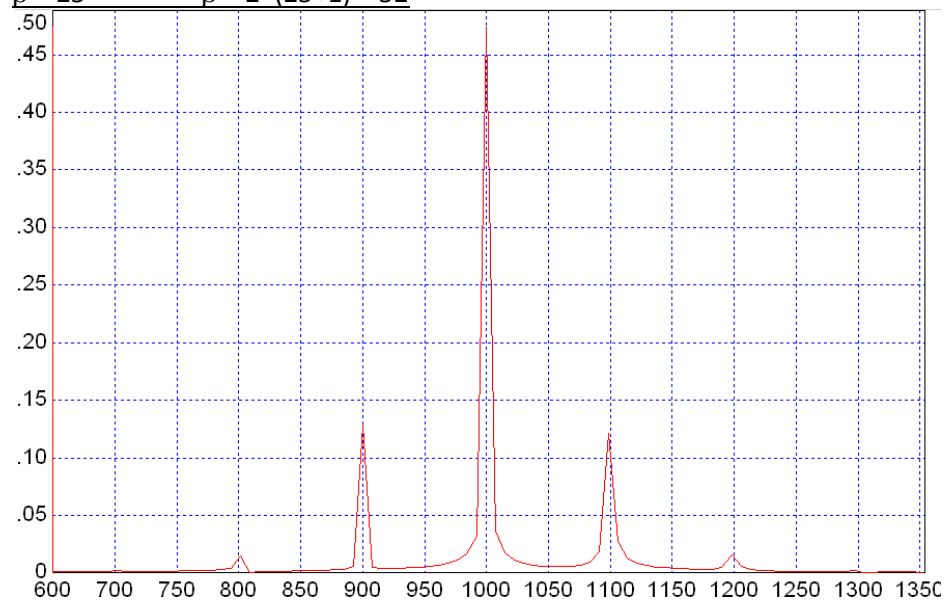
$\beta = 200$ $\beta = 2 * (200+1) = 402$:



$\beta = 100$ $\beta = 2 \cdot (100+1) = 202$

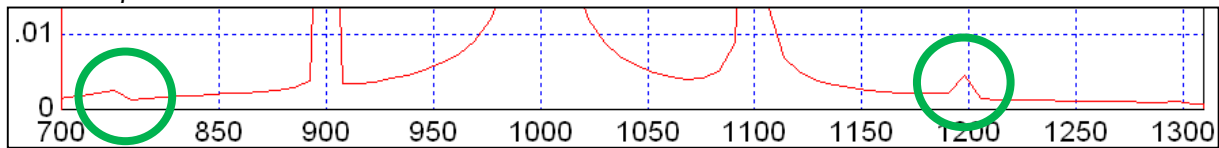


$\beta = 25$ $\beta = 2 \cdot (25+1) = 52$

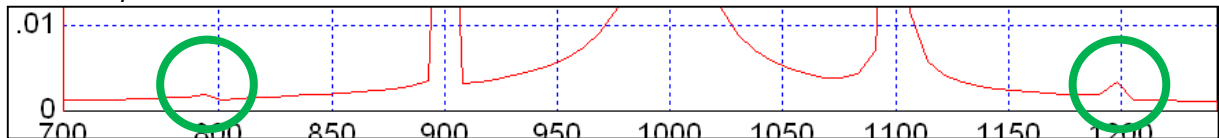


On cherche à savoir à environ quelle valeur de β peut-on parler de modulation de fréquence en bande étroite (NBFM) :

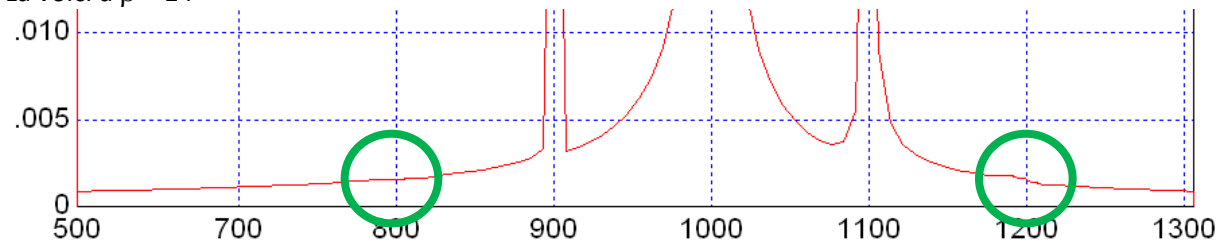
La voici à $\beta = 25$



La voici à $\beta = 20$



La voici à $\beta = 14$



On en déduit donc qu'à partir d'environ $14 < \beta$, les raies d'ordre 2 disparaissent.

En comparant les signaux AM et FM on se rend compte que :

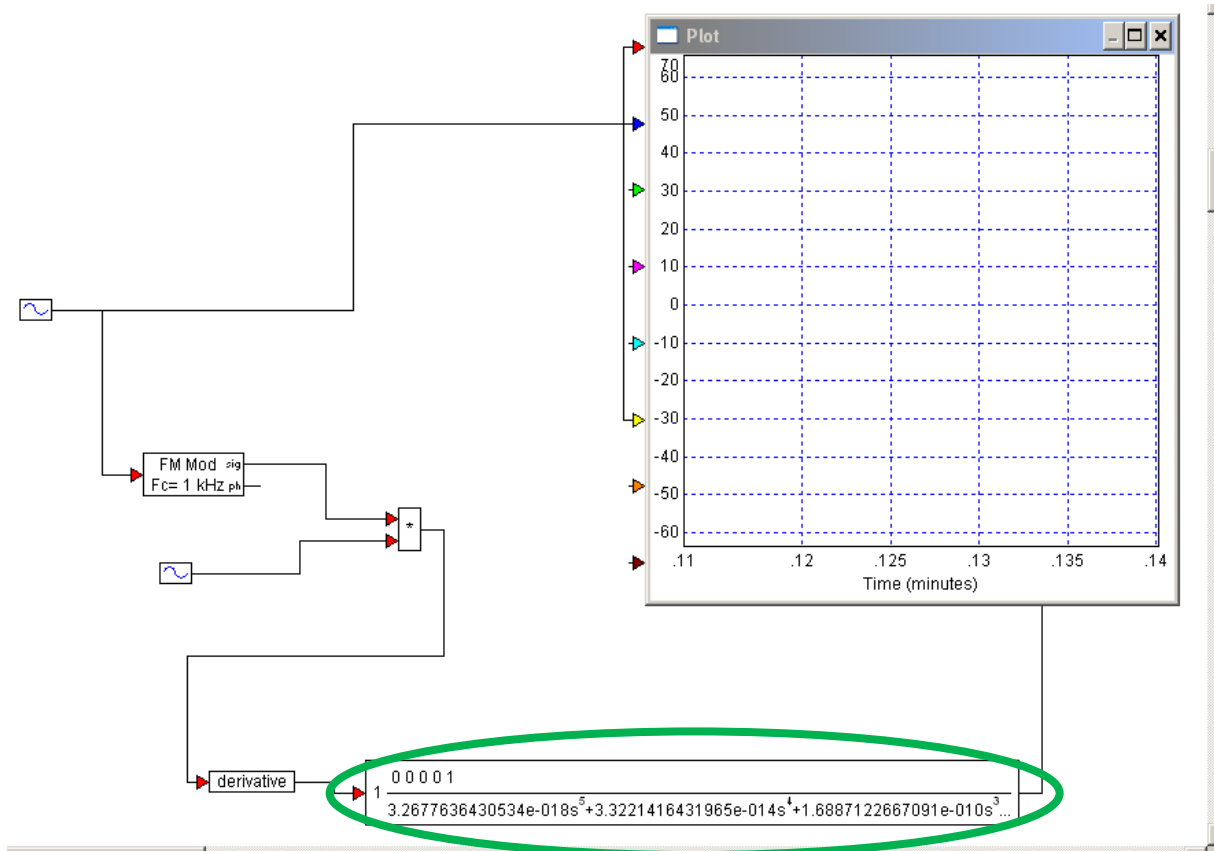
- Le signal AM ne comporte jamais de raies d'ordre 2 quel que soit l'indice de modulation
- Le signal FM, lui,
 - voit l'amplitude de son premier ordre et de sa porteuse varier en fonction de l'indice.
 - voit disparaître ses raies d'ordre 2 à environ $\beta=14$
 - si l'on augmente son indice de modulation, on augmente son ordre de raies latérales.

Q10*

Q11*

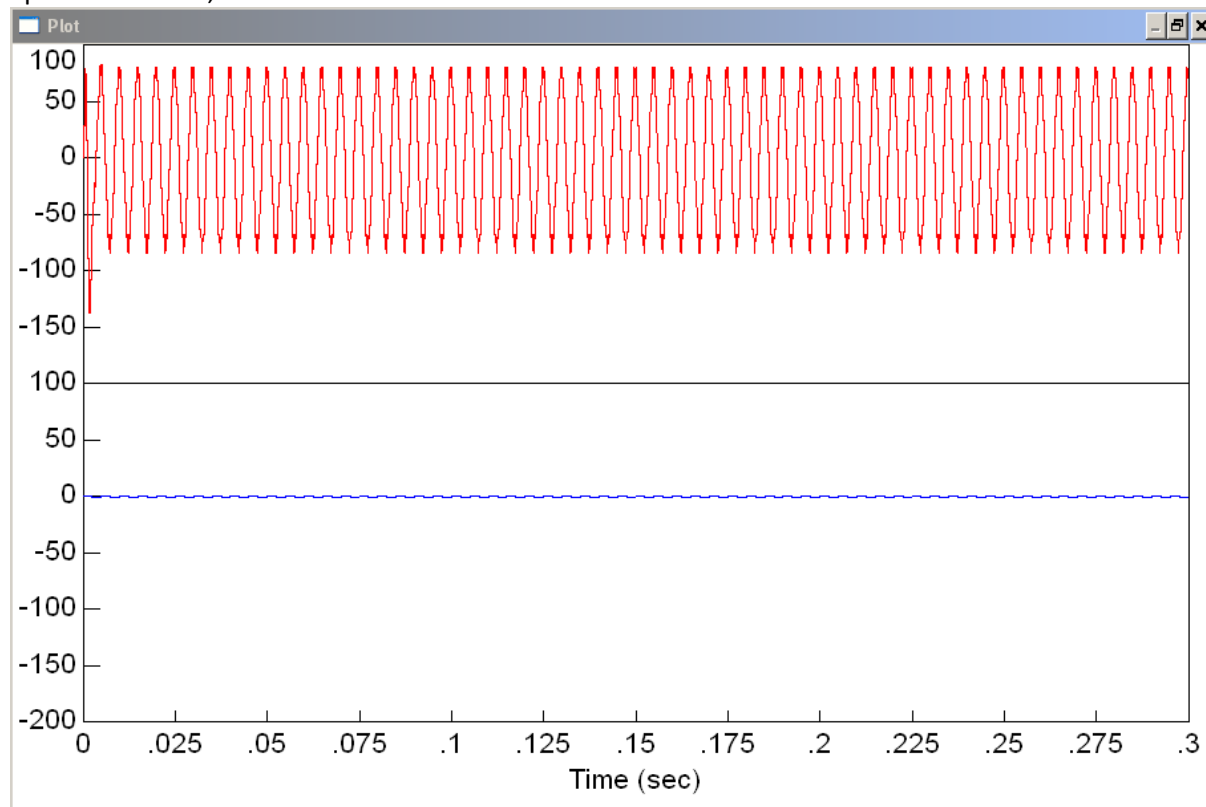
Q12

Voici le schéma fonctionnel saisi afin d'obtenir un signal FM en bande étroite avec un message sinusoïdal de fréquence $F_M=100\text{Hz}$ (avec $\lambda = 20$ ou $\beta = 0,2$)

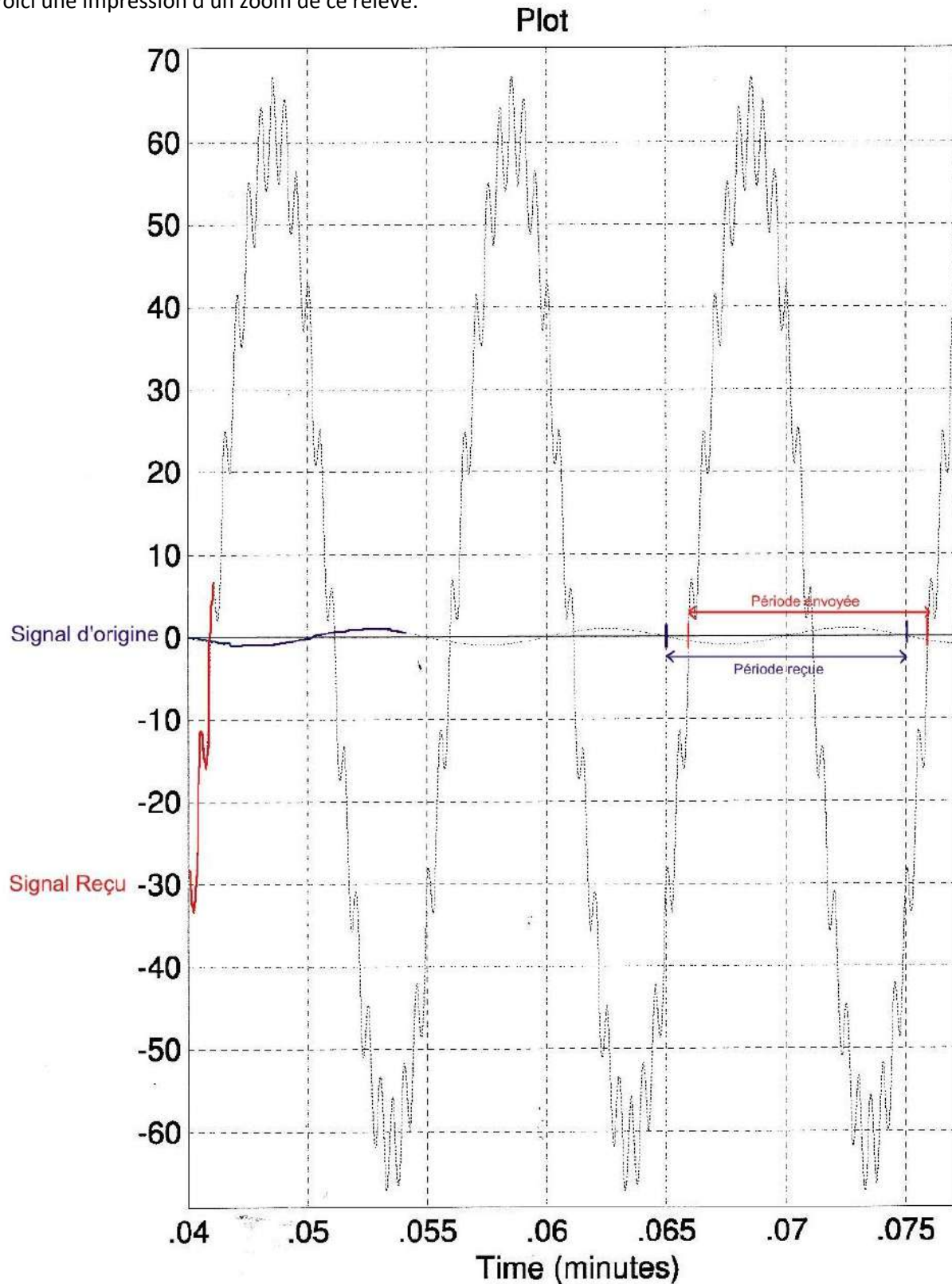


*filtre passe-bas de type Butterworth d'ordre 5, de fréquence de coupure $f_c = 5 \cdot f_M = 5 \cdot 100 = 500\text{Hz}$.

Après simulation, nous obtenons le résultat suivant :



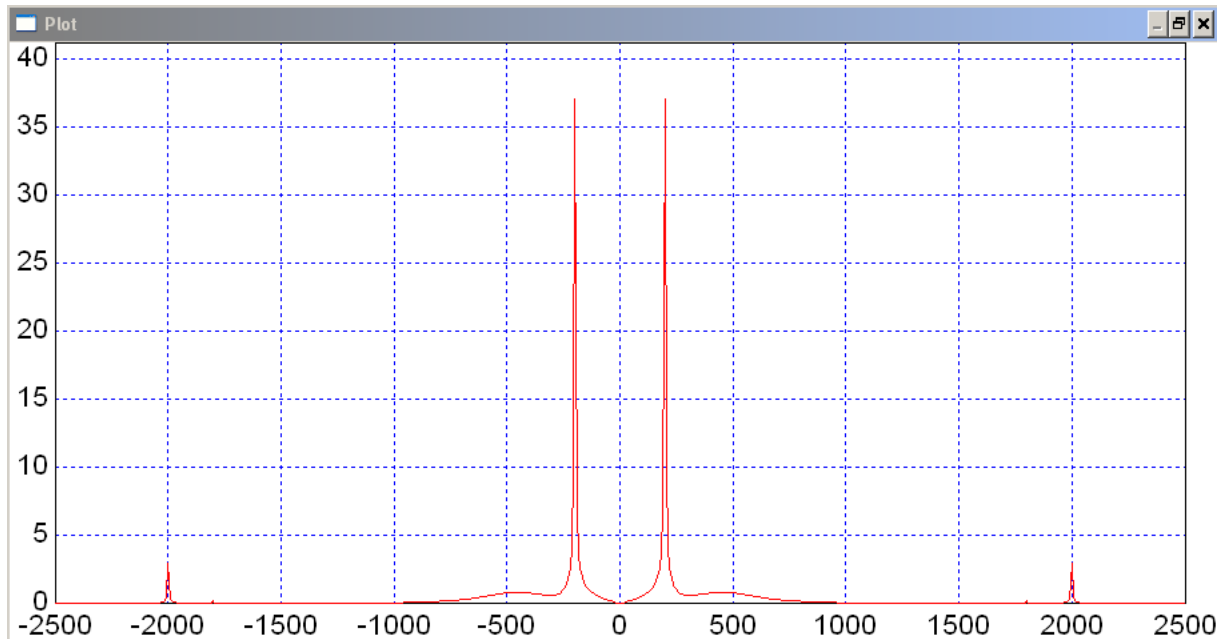
Voici une impression d'un zoom de ce relevé:



En zoomant, nous nous apercevons que le signal sinus démodulé obtenu par le récepteur (en rouge) est identique à celui d'origine (ici en bleu) et ont la même période. Néanmoins,

- il persiste un **déphasage** entre le signal de départ et d'arrivée
- le signal reçu est **amplifié** : il nous est impossible de savoir pourquoi. Nous précisons ici que ce sont des conséquences tout à fait normales dans un système d'émission/réception réel : le passage par un CVI ou un CIV provoque une forte amplification!

Voici enfin le relevé du spectre du signal reçu :



Il correspond bel et bien à celui du signal envoyé : les deux raies à -100 et 100Hz nous indique que le message a bien été **transmis**. On notera l'absence de la raie de fréquence porteuse! Après quelques recherches et l'aide de nos professeurs, il paraît logique que le signal est issu d'une **MASP** : une Modulation d'Amplitude Sans Porteuse!

Voir : <http://www.ac-nice.fr/physique/articles.php?lng=fr&pg=106>

et : <http://ww3.ac-poitiers.fr/cmrip/gel/ressour/pdf/modamp.pdf>