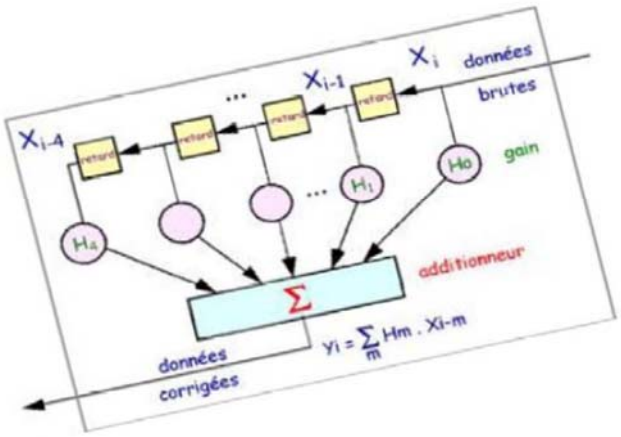
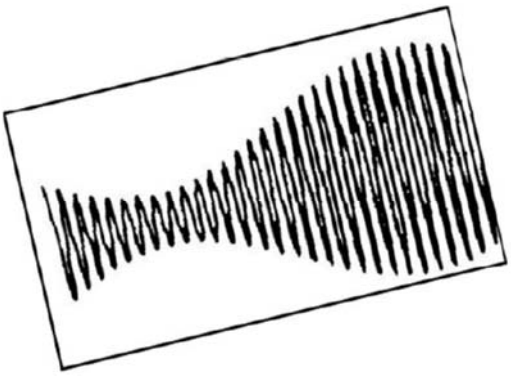
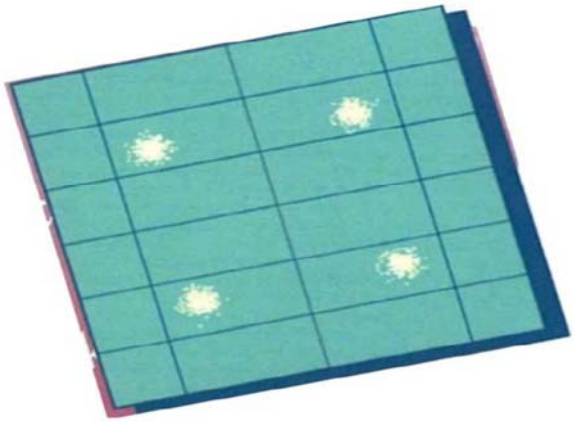




Introduction aux télécommunications Fascicule : TP





Sommaire

Le codage de la source

L'échantillonnage page N°3

La quantification page N°5

Le codage du canal

Le code de reed solomon page N°9

Les modulations analogiques

La modulation d'amplitude A3E page N°13

La modulation d'amplitude J3E page N°18

La modulation d'amplitude F3E page N°20

Les modulations numériques

La modulation FSK page N°23

La modulation PSK page N°25

La modulation QAM page N°31

La modulation GMSK page N°36

La modulation OFDM page N°38

Rappel Mathématique page N°41

L'échantillonnage

Les fondamentaux du cours

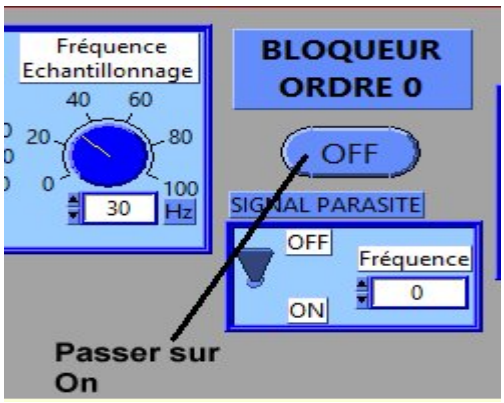
Echantillonner dans le domaine temporel revient

✍

Analyser le phénomène de repliement de spectre et énoncer la condition évitant le repliement de spectre

✍

Ouvrir l'API LABVIEW échantillonnage
Augmentez la fréquence d'échantillonnage que remarquez-vous (on peut aussi utiliser un bloqueur d'ordre 0)

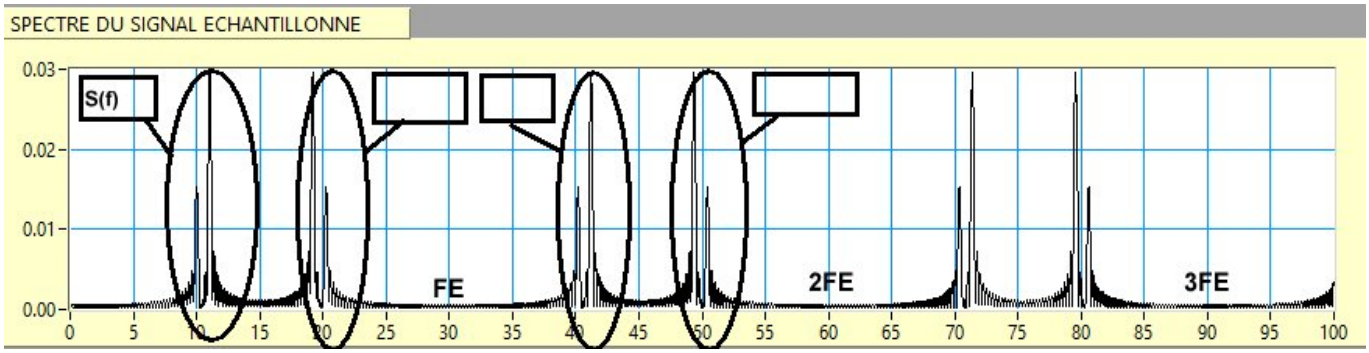


✍

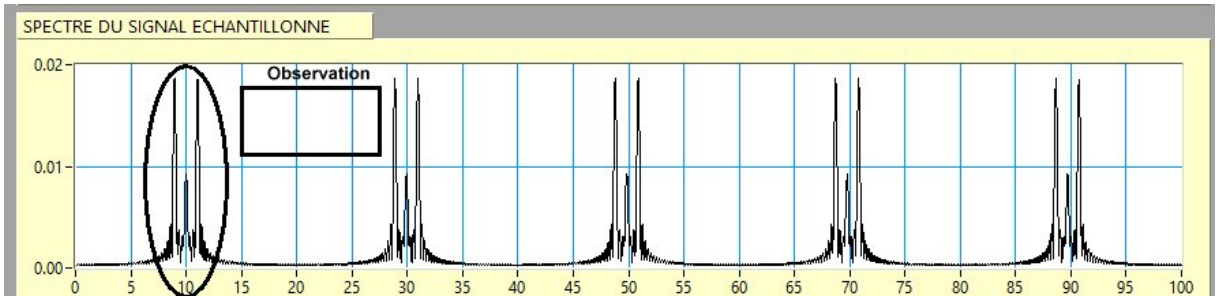
Réglez la fréquence d'échantillonnage à 30 Hz et positionnez-vous dans le domaine fréquentiel en enlevant le bloqueur d'ordre 0



Complétez les encadrés



Diminuez la fréquence d'échantillonnage à 20Hz Qu'observez-vous ?



Comment s'appelle la condition pour éviter ce phénomène. Donnez son expression littérale

La quantification

Les fondamentaux du cours

Justifiez par une formule que le quantum est inversement proportionnel au nombre de bits du quantificateur

✍

Justifiez par une formule que la puissance du bruit de quantification est proportionnelle à la valeur du quantum

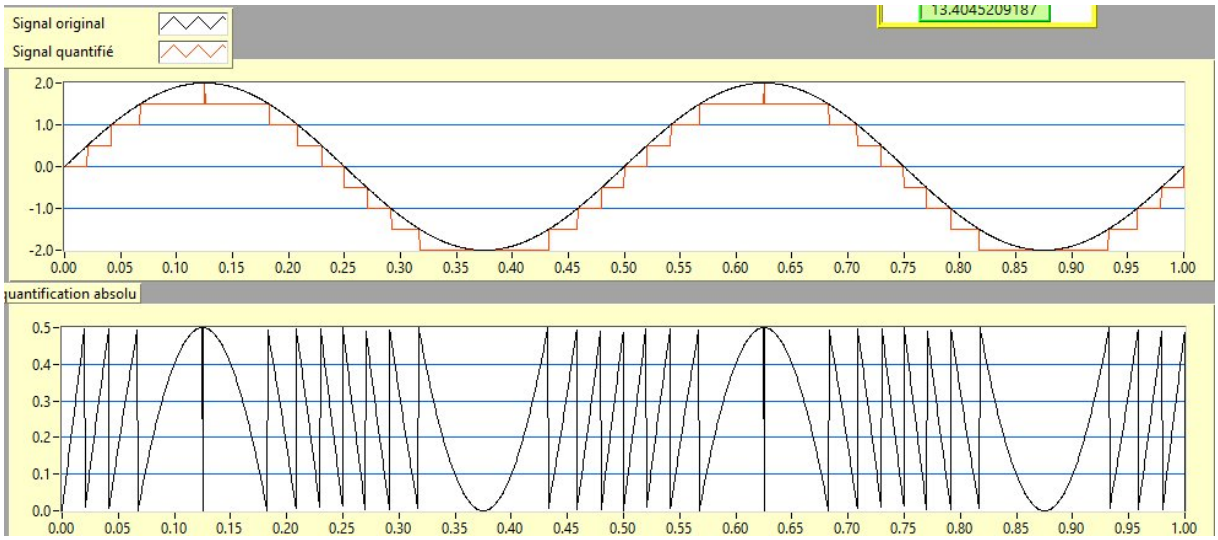
✍

Qu'apporte l'utilisation d'un pas de quantification variable

✍

Lancez le logiciel quantification.exe
Comment s'appelle la grandeur physique que l'on mesure sur la courbe du bas

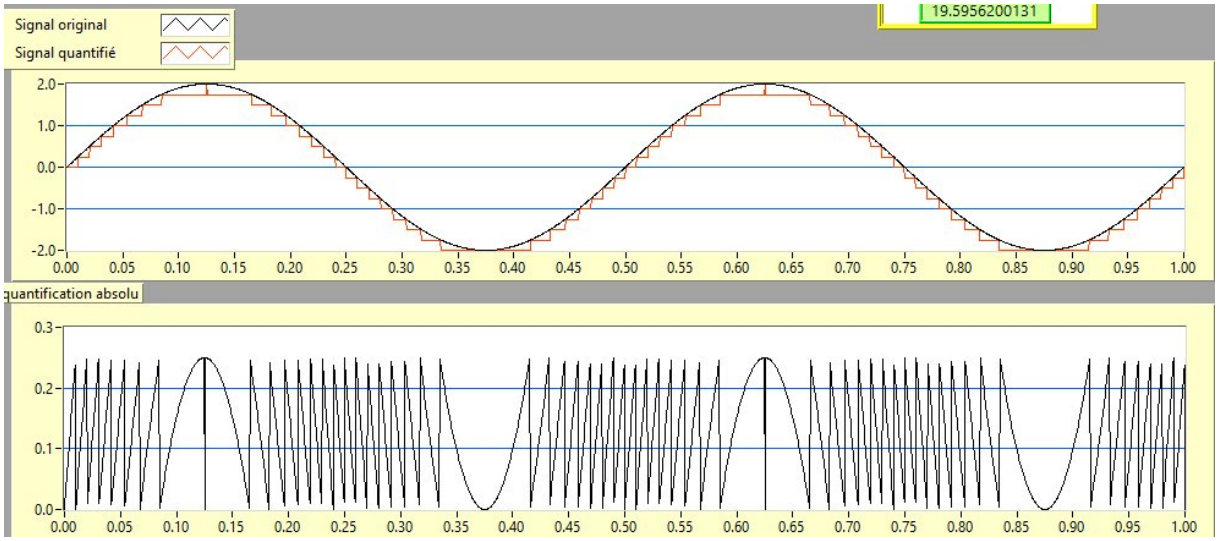
✍



Augmentez le nombre de bit à 4 pour la quantification, En utilisant les formules du cours donnez la valeur du quantum :

$Q =$

Interprétez les résultats obtenus



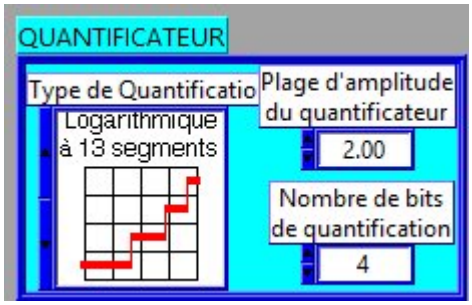
La formule du cours est-elle valable dans notre cas :

$$(\frac{S}{B})_{db} = -14.56 + 6.02n$$

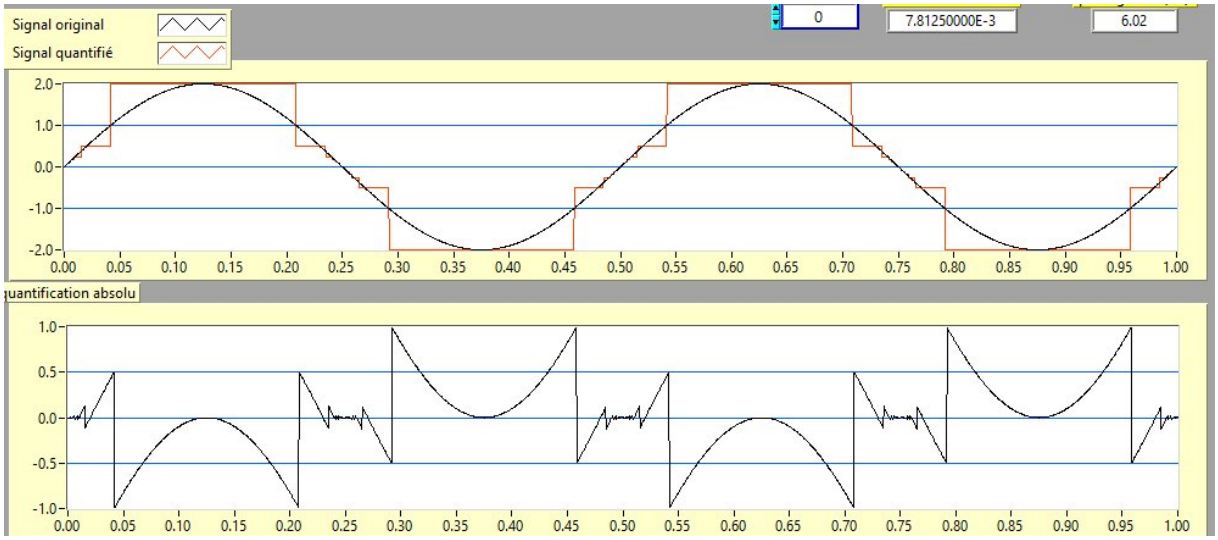
Si n le nombre de bits augmente que se passe t'il ?

Peut-on augmenter indéfiniment n ?

On choisit un quantificateur du type non linéaire logarithmique à 13 segments (n=4) :



Que constatez-vous pour le pas de quantification ?



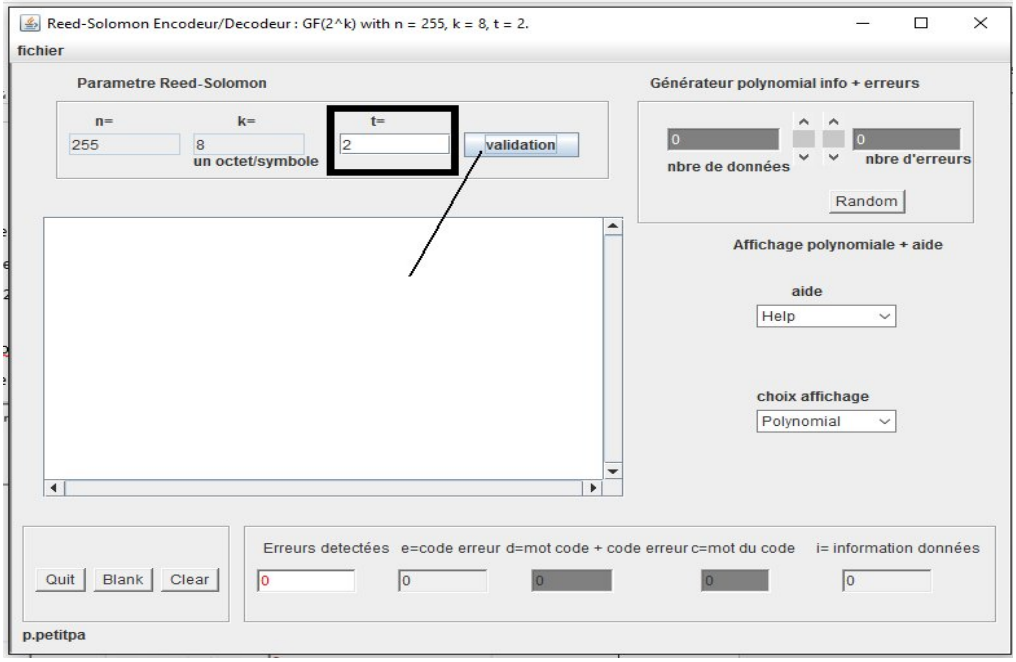
Pourquoi utilise-t-on un pas de quantification variable suivant l'amplitude du signal ?

Le code correcteur de reed solomon

Lancez le logiciel reeddolomon.exe

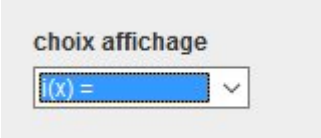
Que représente la valeur de n ?

Réglez t=2 puis cliquez sur validation



On souhaite générez 8 données d'informations différentes ainsi que deux erreurs, faire le réglage suivant et cliquez sur Random :

Choisir une représentation polynomiale pour i(x)



Que représente i(x) ?

```
i(x) =  6X^226 + 51X^206 + 41X^108 + 195X^106 + 89X^75 + 21X^72 + 77X^70 +
203X^16
```

Choisir une représentation polynomiale pour e(x)
Que représente e(x) ?

```
e(x) =  112X^207 + 154X^12
```

Choisir une représentation polynomiale pour c(x)
Que représente c(x) ?

```
c(x) =  6X^230 + 51X^210 + 41X^112 + 195X^110 + 89X^79 + 21X^76 + 77X^74 +
203X^20 + 16X^3 + 253X^2 + 237X^1 + 70
```

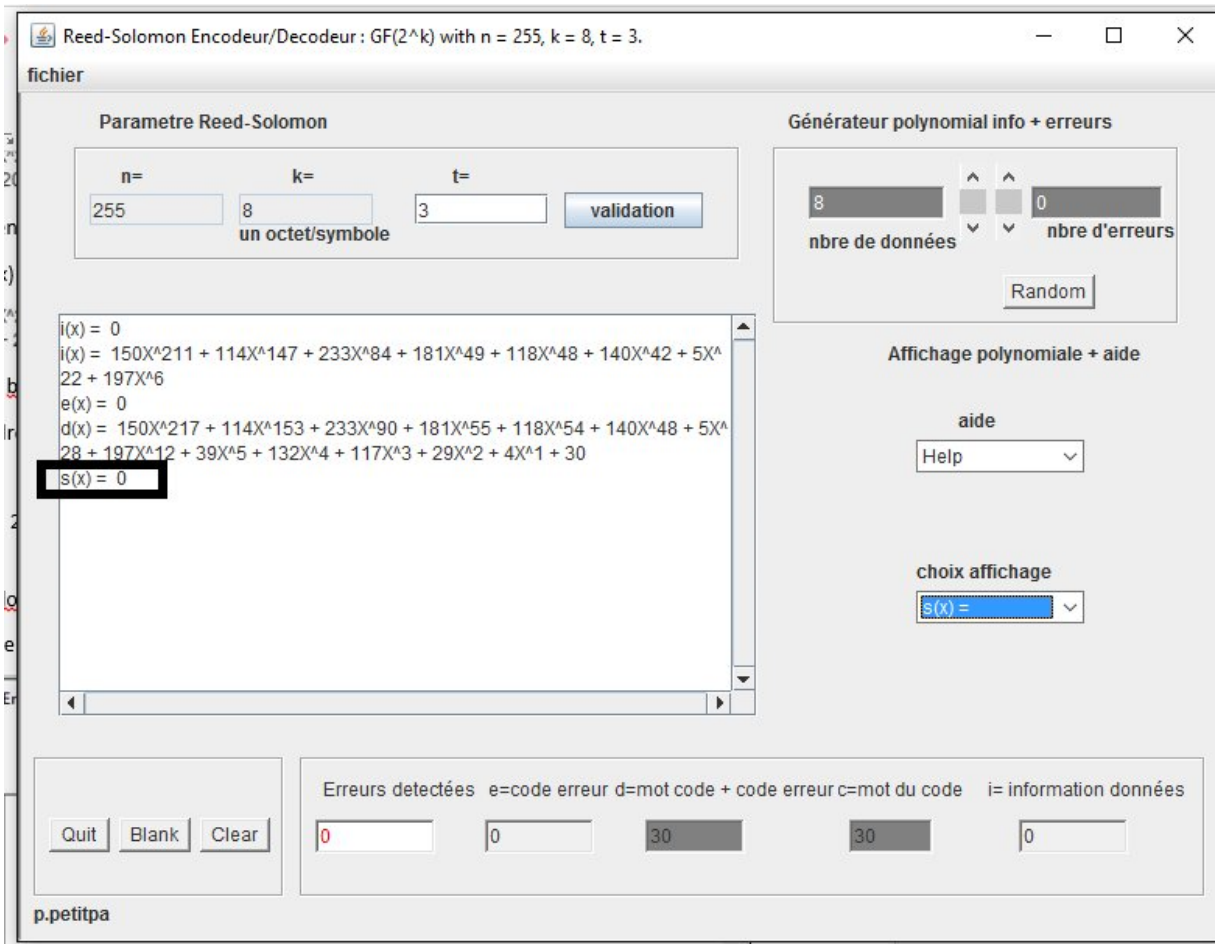
Choisir une représentation polynomiale pour d(x)
Que représente d(x) ?

```
d(x) =  6X^230 + 51X^210 + 112X^207 + 41X^112 + 195X^110 + 89X^79 + 21X^7
6 + 77X^74 + 203X^20 + 154X^12 + 16X^3 + 253X^2 + 237X^1 + 70
```

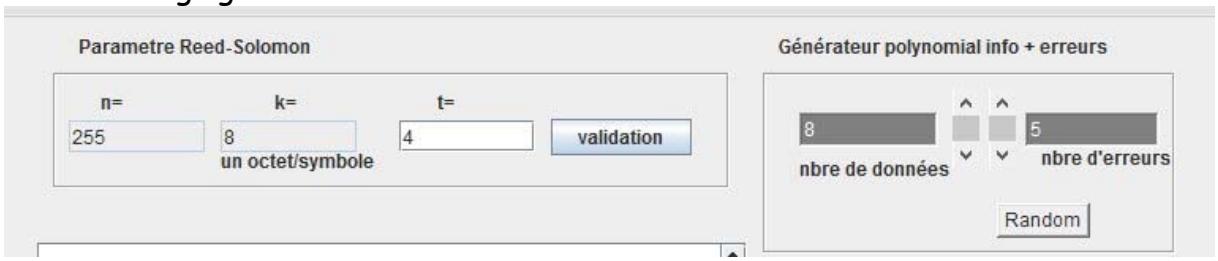
Choisir une représentation polynomiale pour D(x)
Que représente D(x) ?

```
D(x) =  6X^230 + 51X^210 + 41X^112 + 195X^110 + 89X^79 + 21X^76 + 77X^74
+ 203X^20 + 16X^3 + 253X^2 + 237X^1 + 70
```

Cliquez sur clear et blank pour réinitialiser les valeurs et vérifiez que le syndrome est nul si il n'y a pas d'erreur



Faire les réglages suivants :



Que constatez-vous dans la case erreurs détecté lorsque vous cliquez sur random, conclure ?



Comparez dans ce cas précis la représentation polynomiale de D(x) et de d(x), conclure ?

✍

Les modulations analogiques : La modulation A3E

Les fondamentaux du cours

Identifiez dans le cours le taux de modulation et son impact sur le signal modulé

✍

Vérifiez par des formules que l'opération de modulation n'est qu'une simple translation du spectre du message d'origine

✍

Lancez le logiciel Modulation d'amplitude A3E.exe

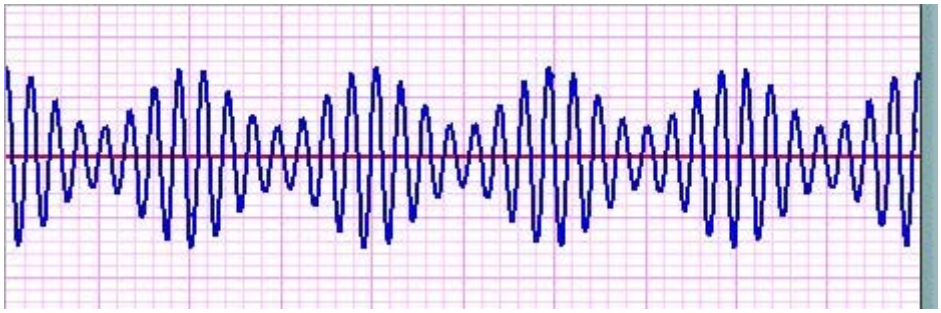
Que représente le taux de modulation m

✍

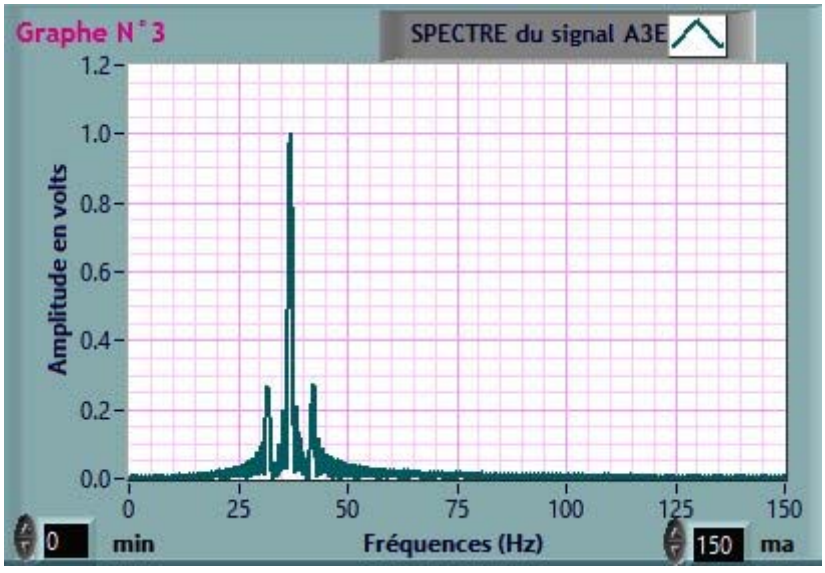
Faire les réglages suivants :



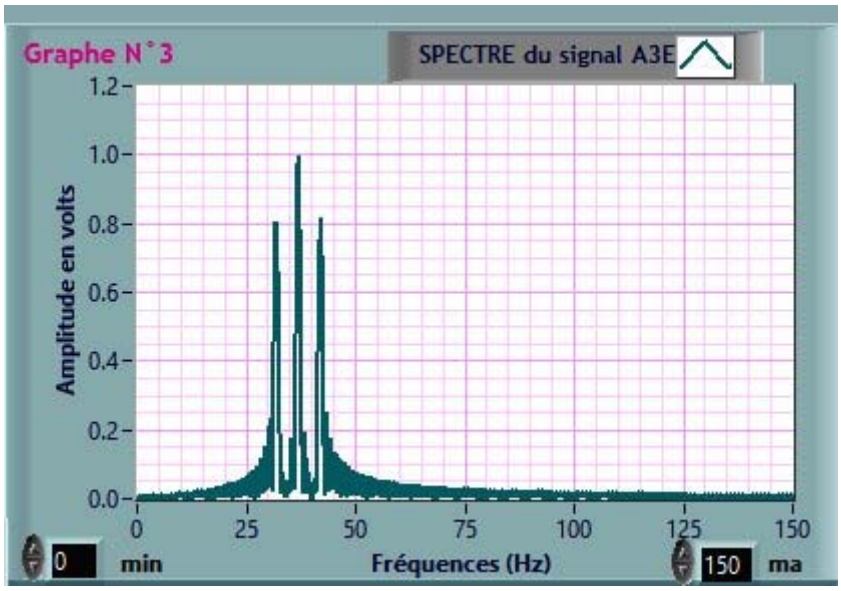
Dessinez l'enveloppe du signal modulant sur la courbe ci-dessous



Le spectre est le suivant, justifiez ce résultat en utilisant les formules du cours



Modifiez le taux de modulation à une valeur de 1.5, en utilisant les résultats du cours donnez l'amplitude des raies sur le schéma ci-dessous :

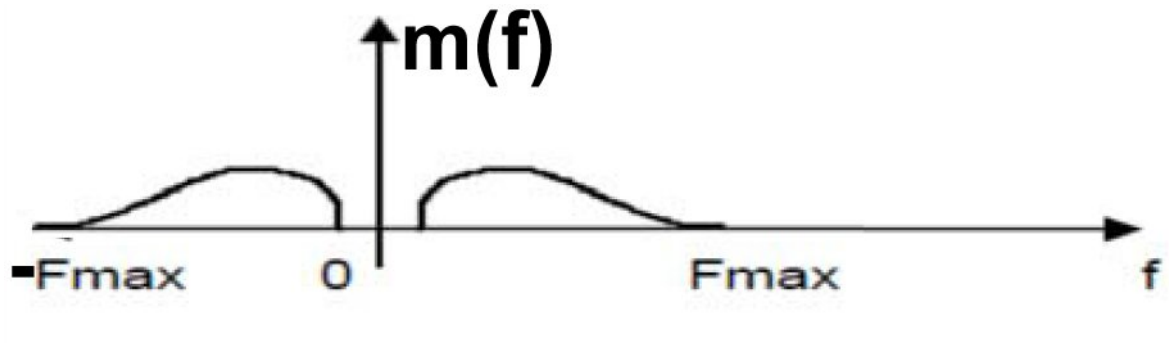


Que constatez-vous sur l'enveloppe du signal modulé

Choisir un signal du type Aléatoire

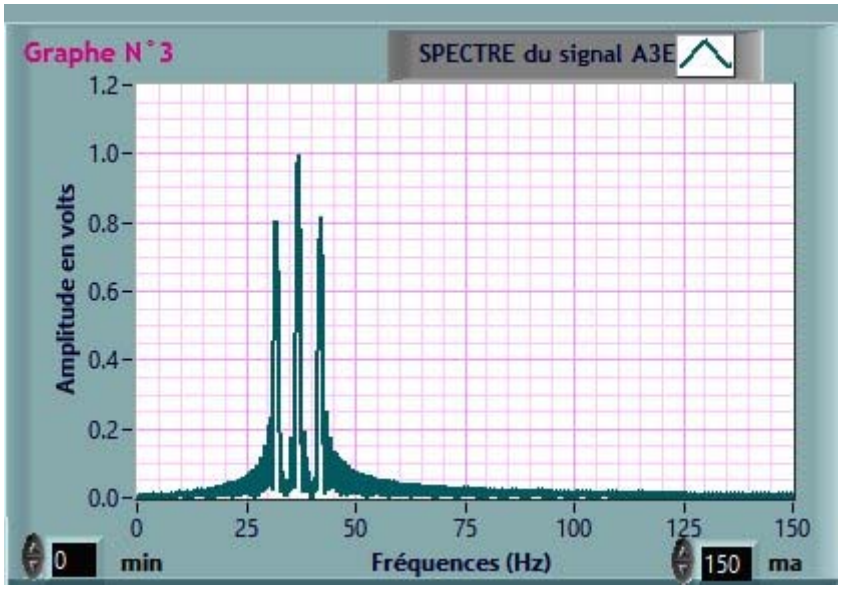


Soit le spectre du signal ci-dessous :



Identifiez sur le schéma les composantes spectrales données par la formule suivante :

$$Spectre\ \ fréquence\ \ positive\ \ S(f) = \frac{AC \times \delta(f - fc)}{2} + \frac{m(f - fc)}{2}$$



Que vaut approximativement la bande passante du signal modulé :

✍

Avantages

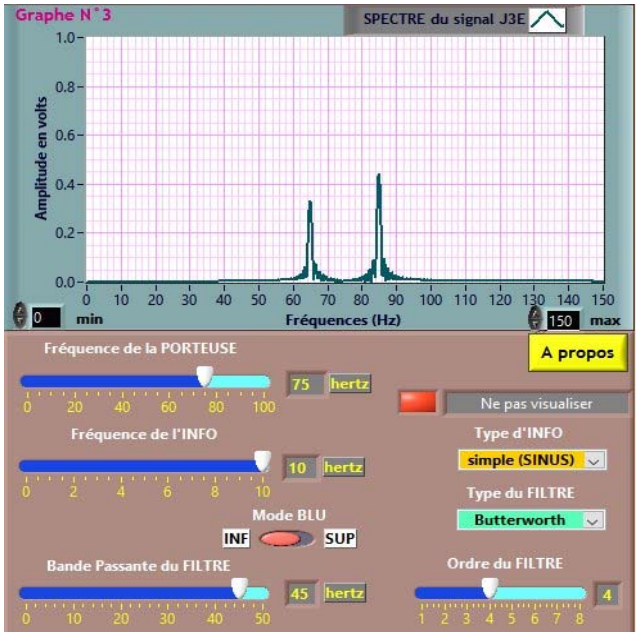
✍

Inconvénients

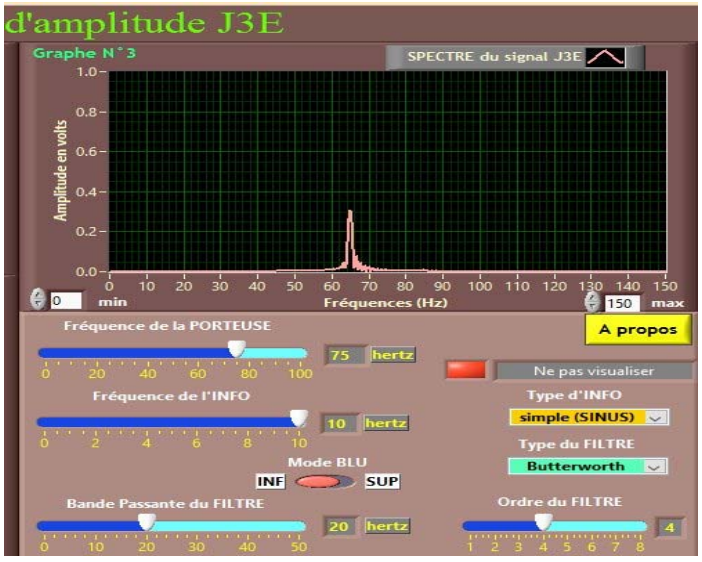
✍

Les modulations analogiques : La modulation J3E

Lancez le logiciel Modana_J3E.exe et faites les réglages suivants (le bouton BLU permet de centrer le filtre passe bande). Dessinez sur le spectre la position du filtre passe-bande et ses deux fréquences de coupure



Modifiez un paramètre afin d'obtenir une BLU du type Bande latéral inférieure ou LSB (lower side band).



Citez les avantages et inconvénients de ce type de modulation

Les modulations analogiques : La modulation F3E

Les fondamentaux du cours

Identifiez la relation qui lie la fréquence instantanée d'un signal à sa phase instantanée

✍

Caractérisez l'indice de modulation en FM

✍

Identifiez les différentes raies spectrales et leurs amplitudes d'un signal modulé dans le cas simple d'un signal modulant sinusoïdal

✍

Relevez la formule de Carson et comprendre son impact sur le spectre occupé par un signal modulant quelconque

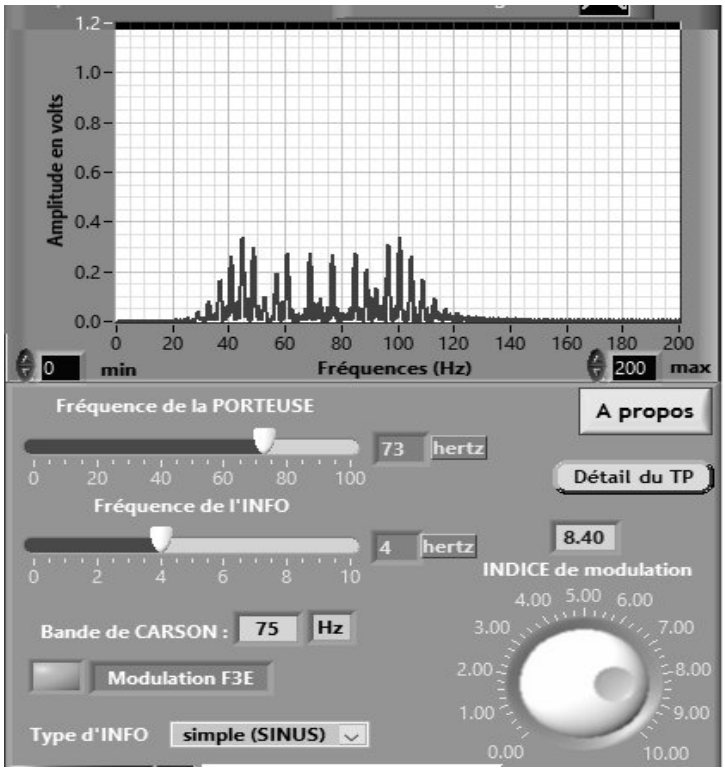
✍

Lancez le logiciel ModanaF3E.exe

Que représente l'indice de modulation β

✍

Faites les réglages suivants :



L'indice de modulation agit sur quelle grandeur du signal modulé ?

Mesurez approximativement la bande passante et justifiez théoriquement par le cours cette bande passante

On règle le signal sur signal aléatoire, Pourquoi peut-on affirmer que la formule pour un signal modulant quelconque est vérifiée :



Citez les avantages et inconvénients de ce type de modulation F3E

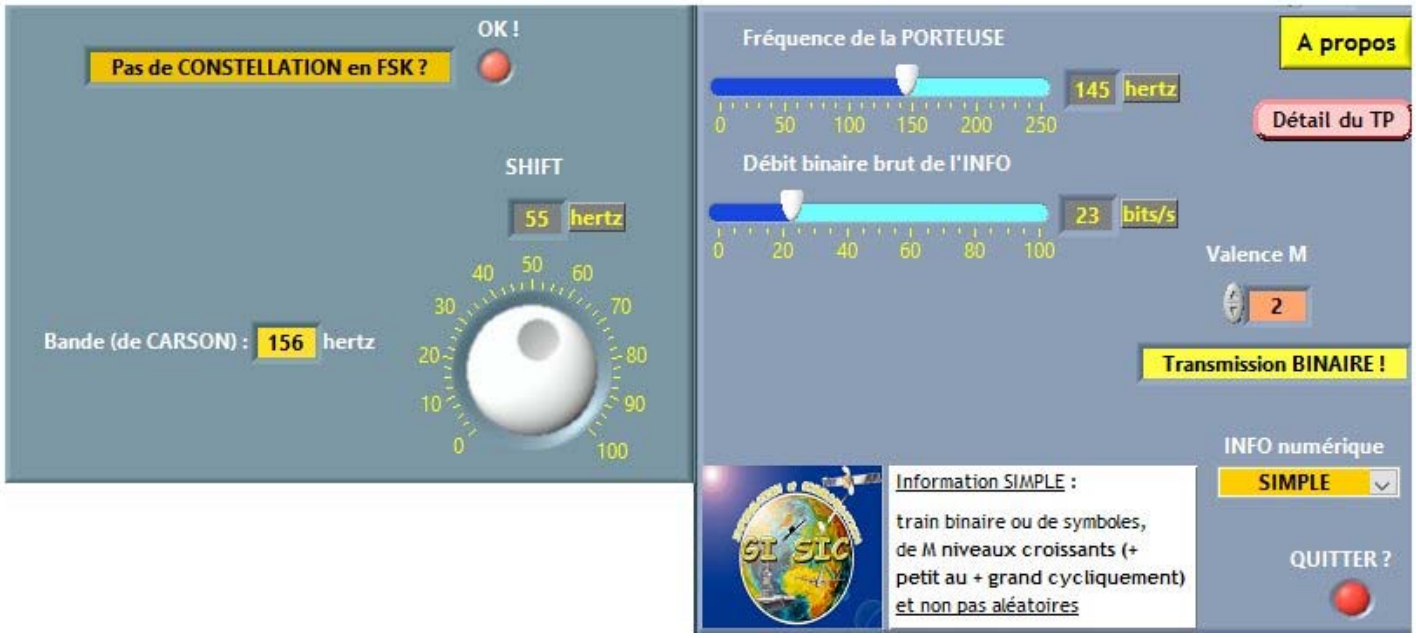
Les modulations numériques : La modulation FSK

Les fondamentaux du cours

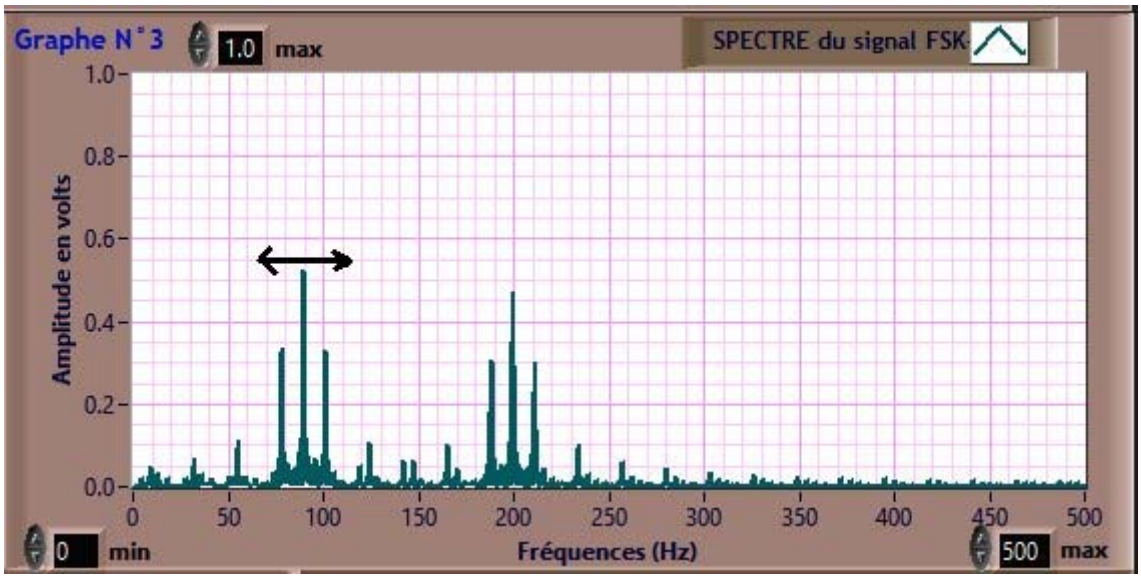
Relevez le paramètre physique qui caractérise la largeur du lobe principale du spectre du signal modulé

✍

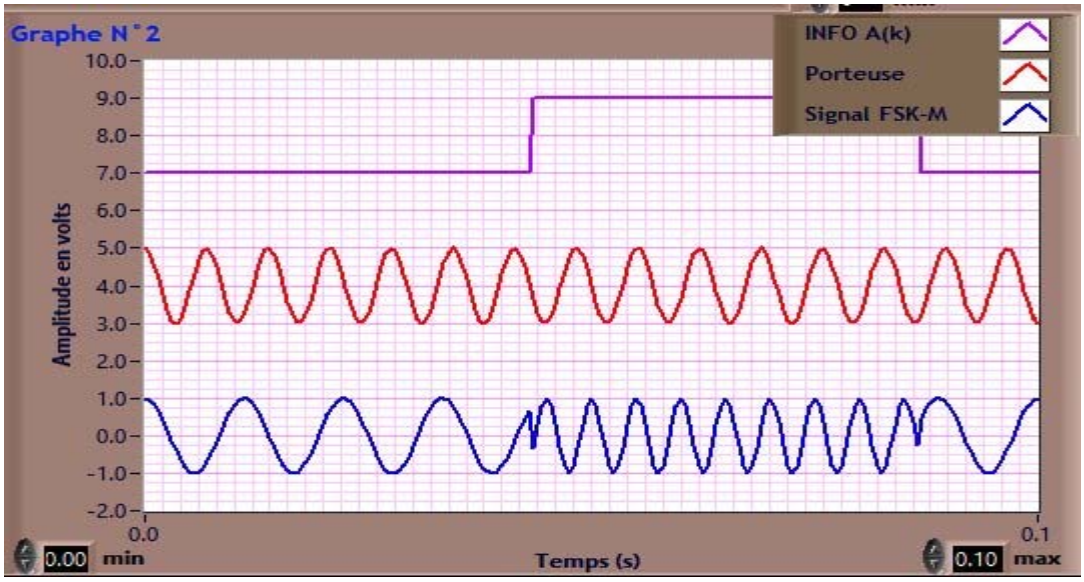
Faites les réglages suivants :



En vous servant du cours justifiez la largeur $BPlatérale$ des deux bandes latérales :



En visualisant la forme du signal modulé décrire quel paramètre va influencer la $BPlatérale$



Modifiez le débit binaire conclure ?

Les modulations numériques : La modulation PSK

Les fondamentaux du cours

Relevez l'expression temporelle du signal modulé en faisant apparaitre les composantes i(t) et q(t) pour la constellation

✍

Donnez l'expression littérale du spectre occupé par un signal modulé en PSK

✍

Identifiez l'effet de l'augmentation de la valence M sur le rapport signal sur bruit Eb/N0

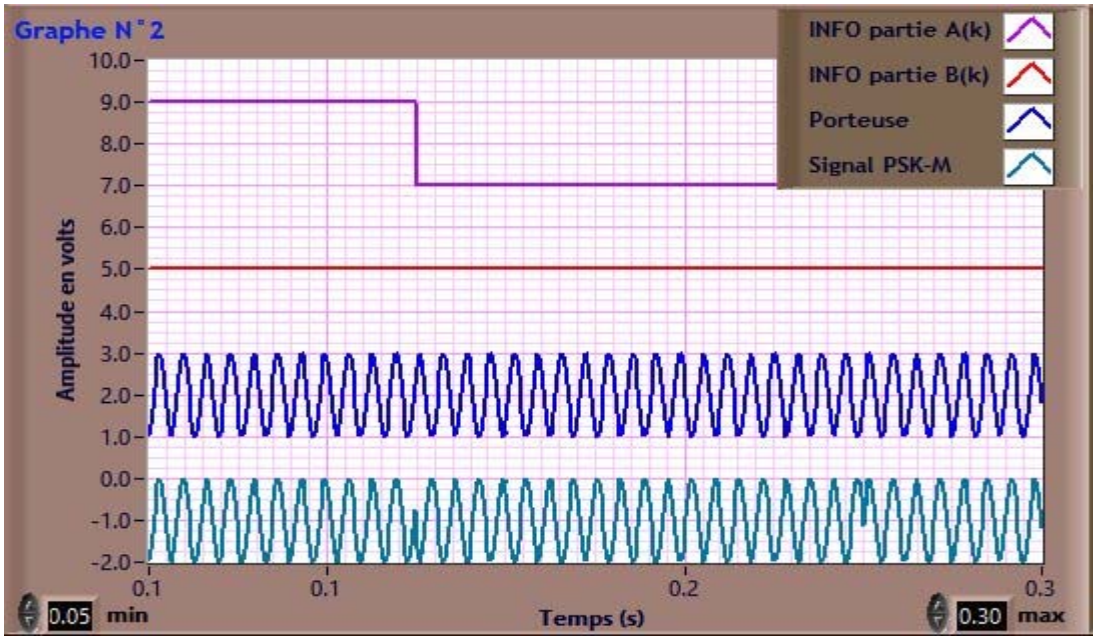
✍

Lancez l'applicatif Modnum_PSK.exe et faire les réglages suivants :



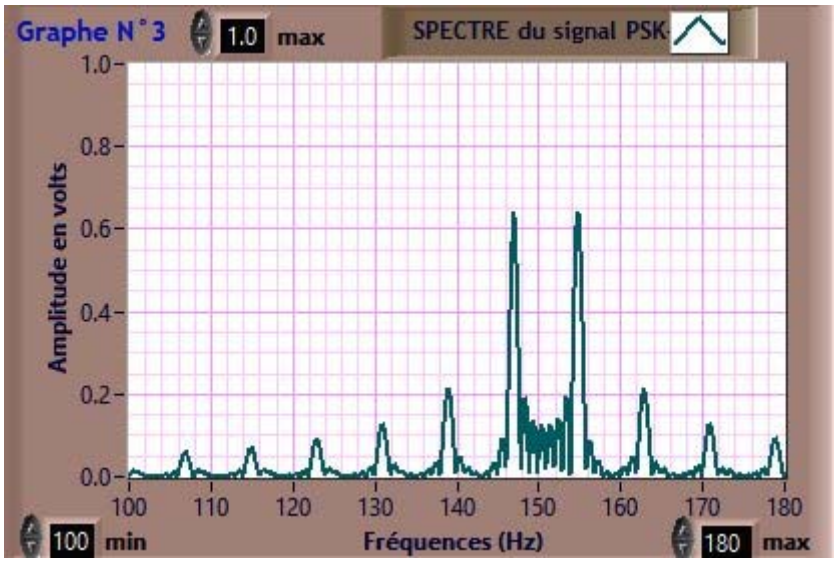
Quel type de modulation numérique obtient-on ?

Identifiez sur le chronogramme ci-dessous les changements de phase :



En vous servant des notions de cours déterminez approximativement la bande passante et vérifiez sur le graphique. On considérera que :

- la majorité de l'énergie est contenue dans les deux premières raies.
- le coefficient de roll-off est proche de 1 (filtrage peu efficace)

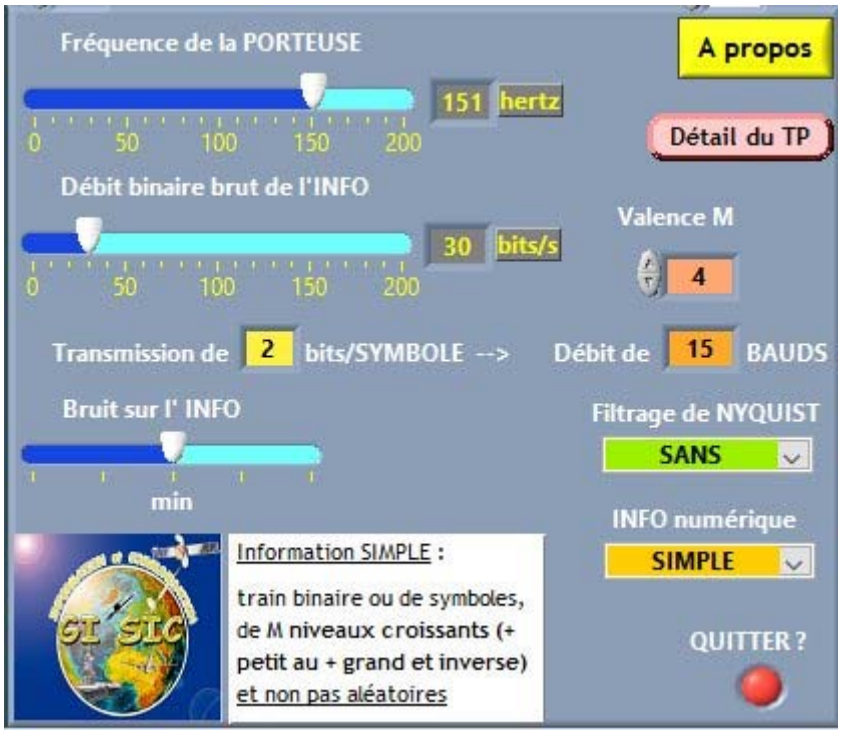


✍

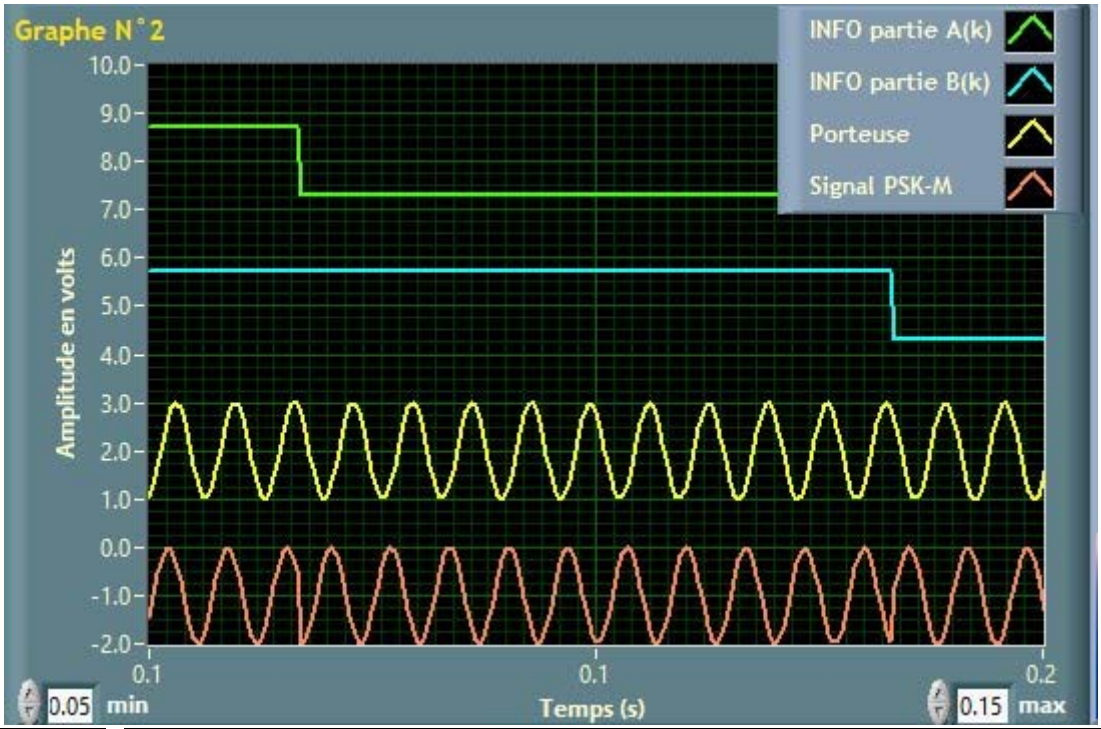
Vérifiez avec un signal aléatoire l'approximation de la bande occupée par un signal modulé PSK .



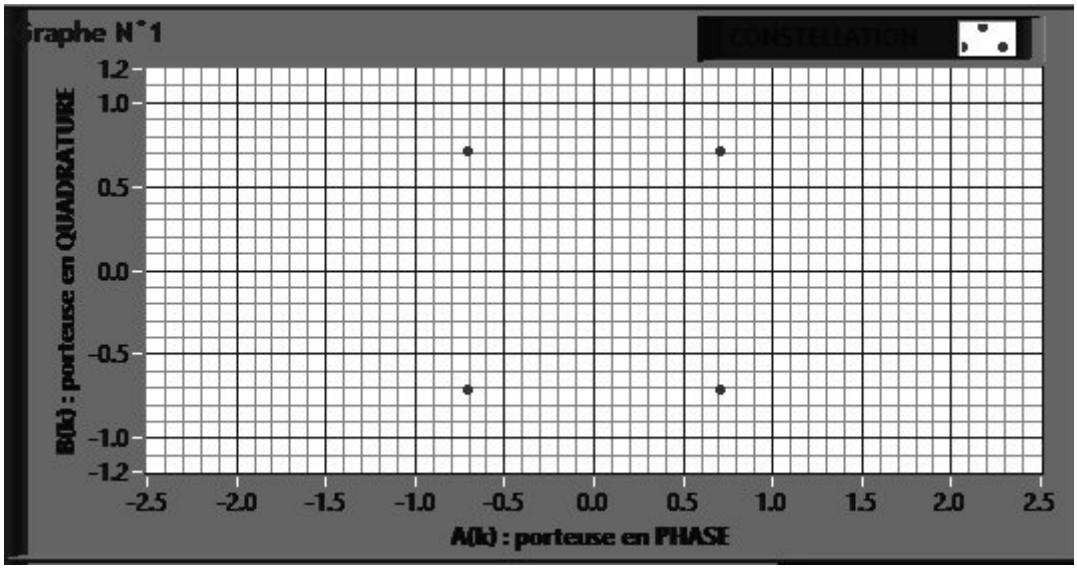
Effectuez le réglage suivant :



Quel type de modulation numérique obtient-on ?



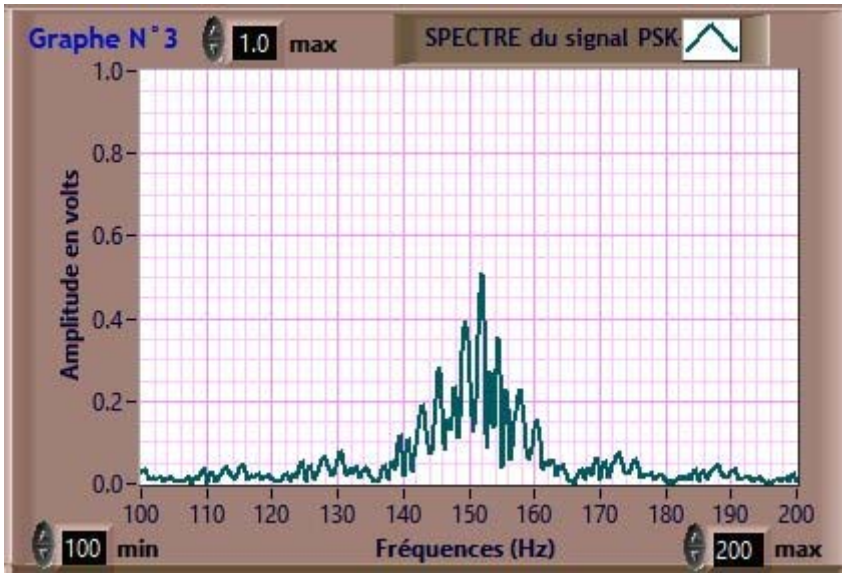
Identifiez sur le graphe suivant les valeurs de ak et bk



Positionnez un signal réel :



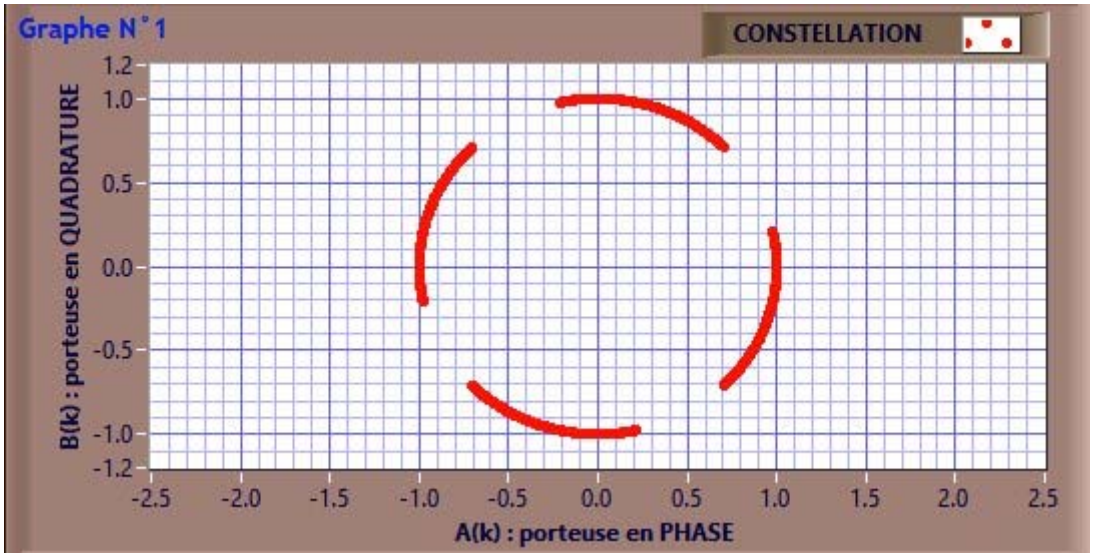
Estimez à peu près pour ces réglages l'occupation spectrale sur le graphe ci-dessous



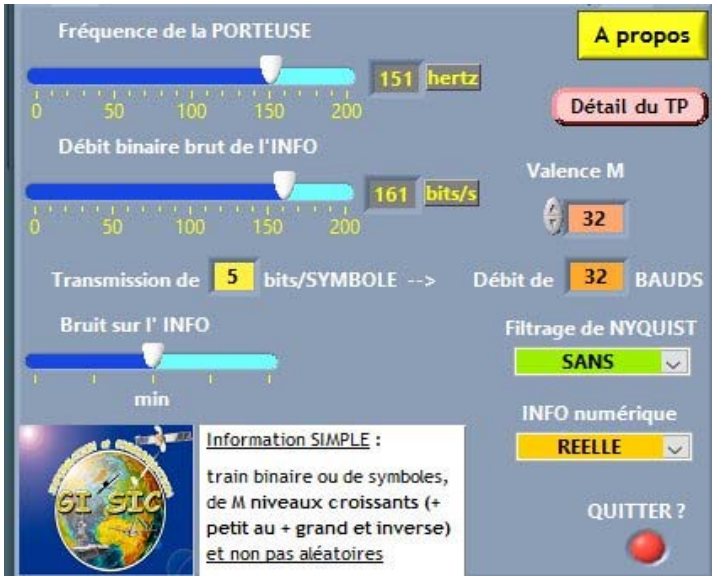
Modifiez le curseur afin d'avoir du bruit



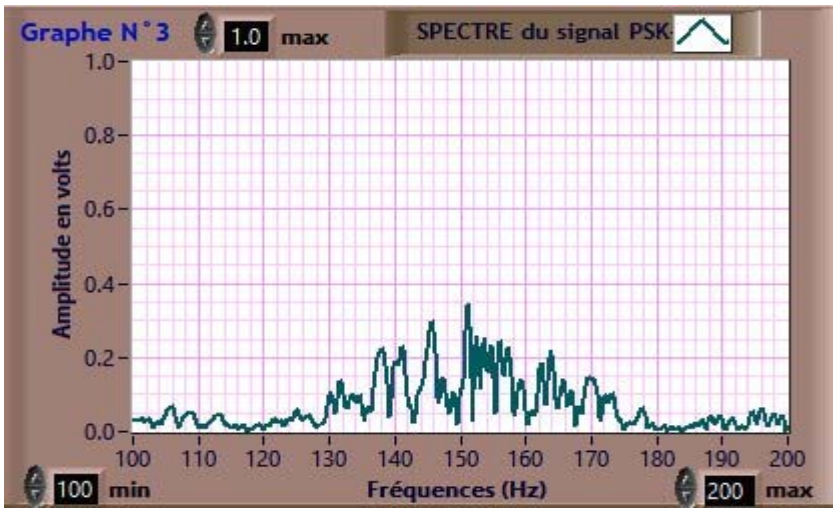
Quel type de bruit est généré amplitude ou phase, justifiez votre réponse :



Faire les réglages suivants afin d'obtenir une modulation du type PSK32



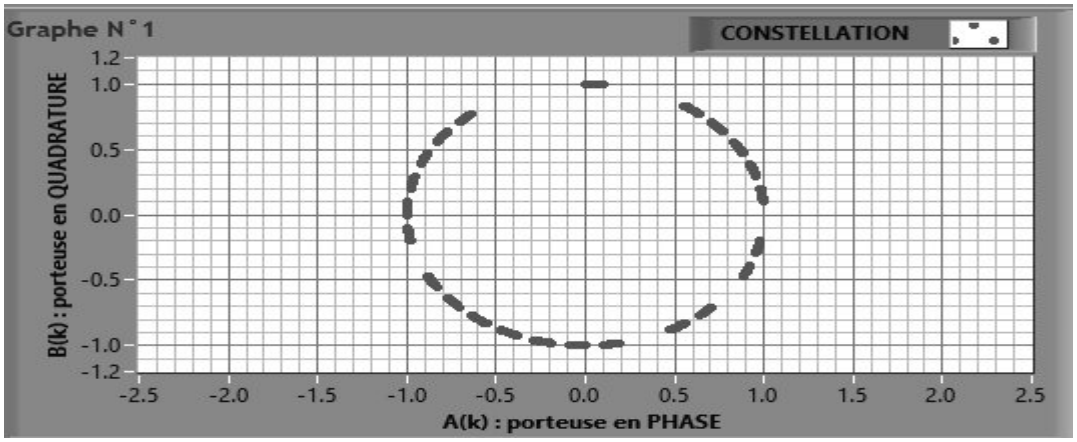
Comparez la bande passante à celle obtenue pour une modulation du type QPSK (débit 30 bits/s), conclure



Modifiez le curseur afin d'avoir du bruit



Que remarquez-vous et que va-t-il se passer à la réception.



Les modulations numériques : La modulation QAM

Les fondamentaux du cours

Relevez l'expression temporelle du signal modulé en faisant apparaitre les composantes de module et de phase pour la constellation

✍

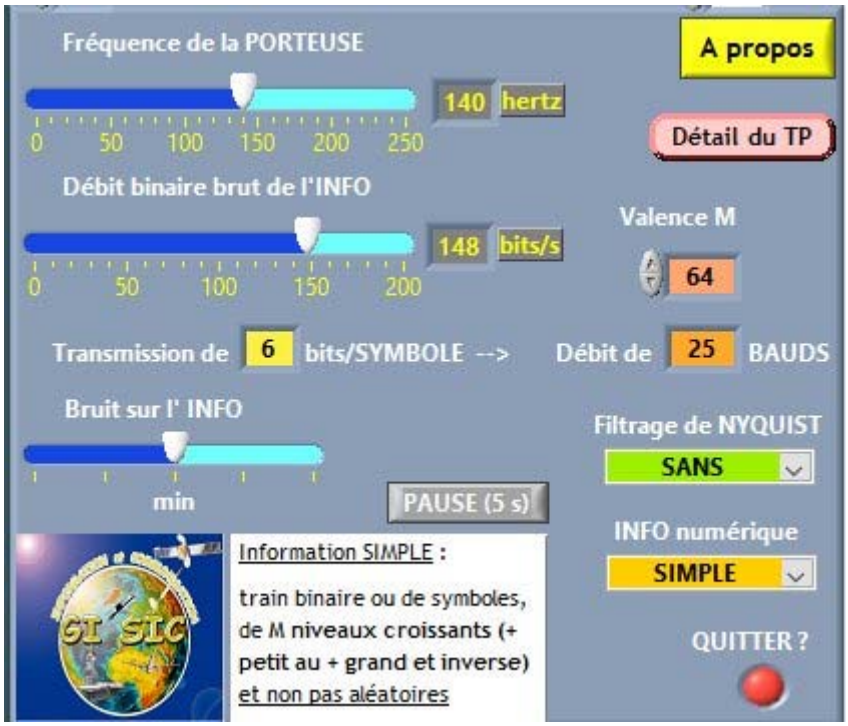
Donnez l'expression littérale du spectre occupé par un signal modulé en QAM

✍

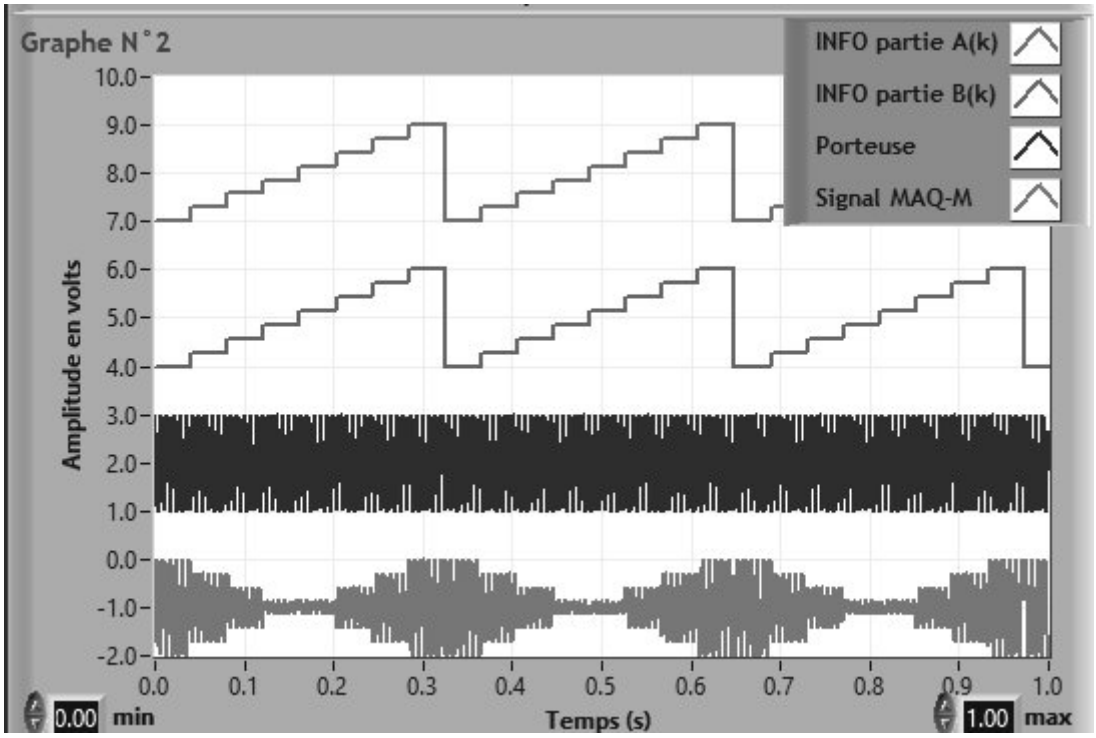
Identifiez l'effet de l'augmentation de la valence M sur le rapport signal sur bruit Eb/N0

✍

Lancez l'applicatif Modnum_MAQ.exe et faire les réglages suivants :



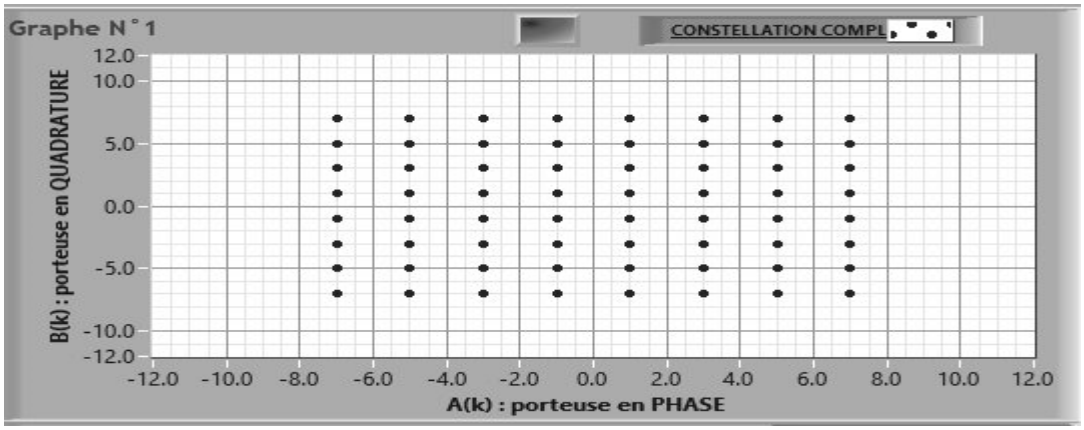
Le signa modulé est-il à enveloppe constante ?



On peut tricher en faisant apparaitre la constellation complète :



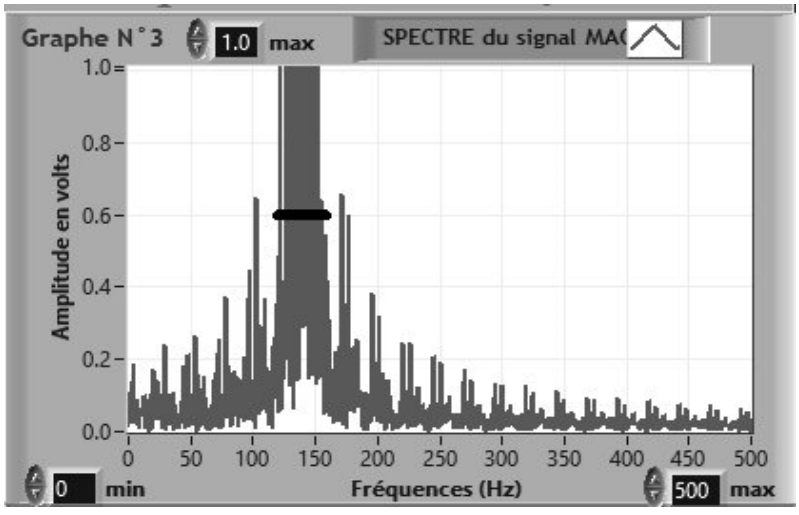
CLIQUEZ SUR LE BOUTON



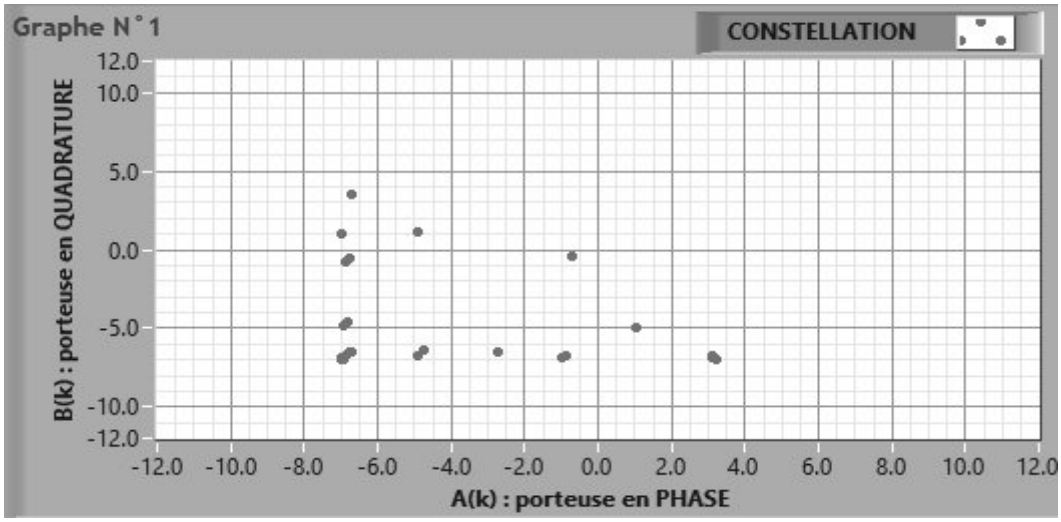
Choisir un signal réel



Relevez l'occupation spectrale du signal modulé et comparez avec une modulation PSK-64



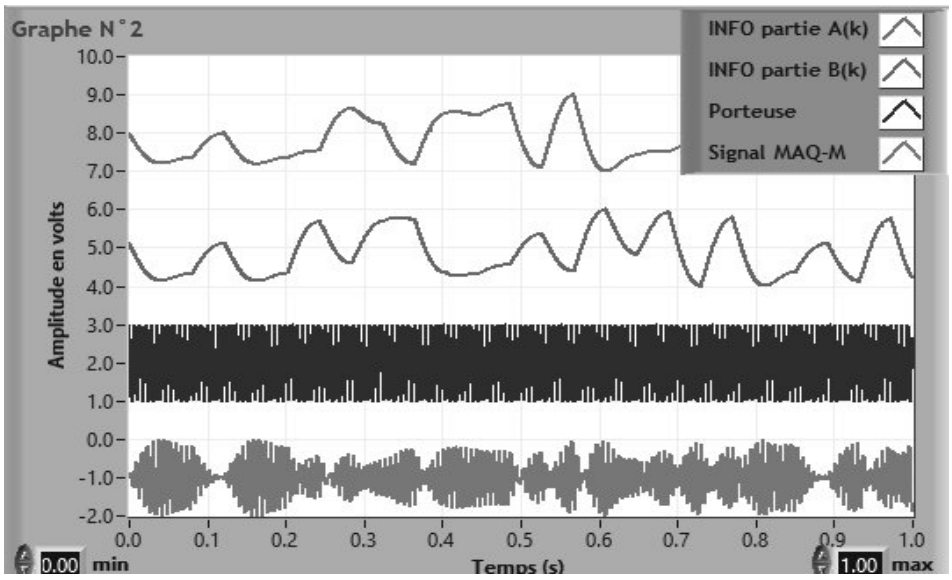
Rajoutez du bruit, comparez avec une modulation PSK.



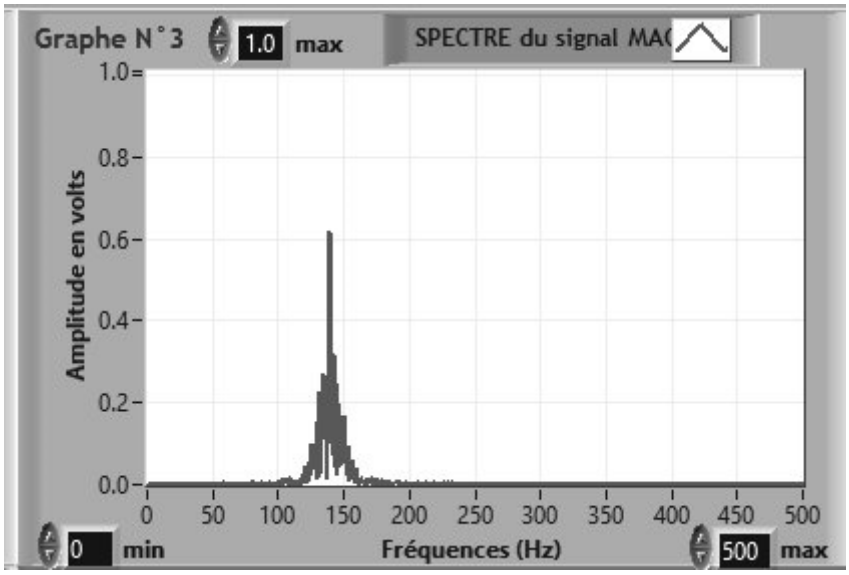
Rajoutez un filtre de Nyquist



Observez les signaux Ak et Bk, conclure



Quel impact a le filtre sur l'occupation spectrale :



Les modulations numériques : La modulation GMSK

Les fondamentaux du cours

Relevez l'écart de phase linéaire à chaque changement d'état binaire

✍

Le diagramme de constellation fait apparaitre quatre points, justifiez cette caractéristique

✍

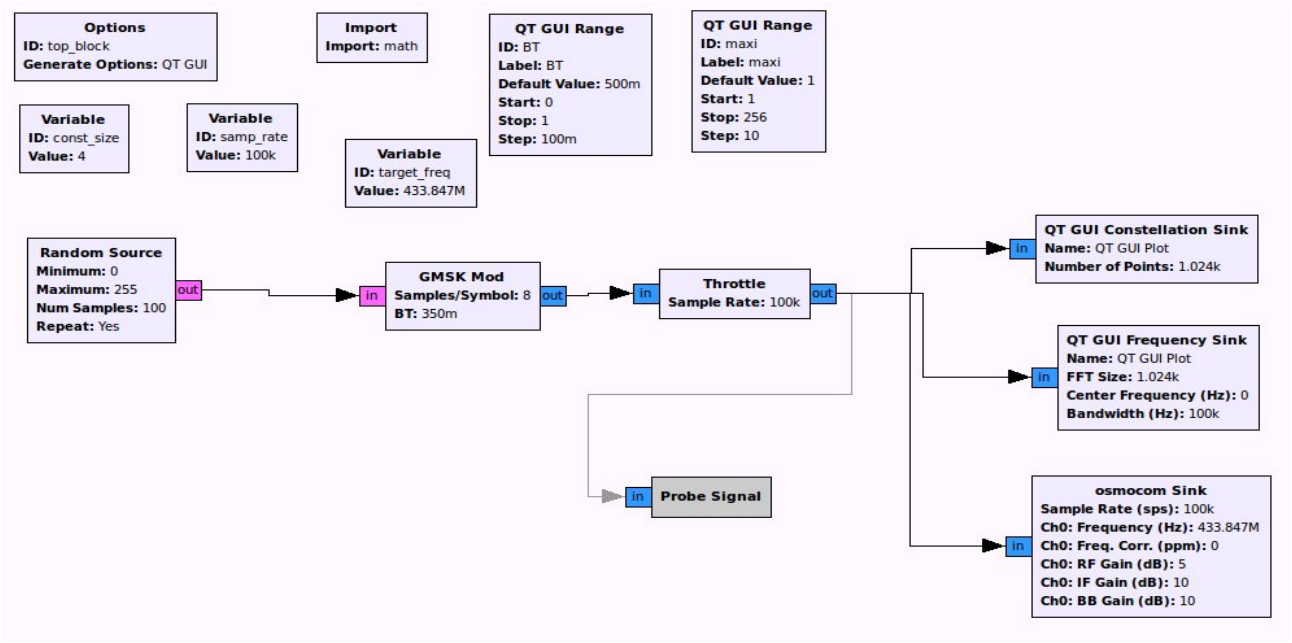
Identifiez l'indice de modulation en se basant sur la démonstration du cours

✍

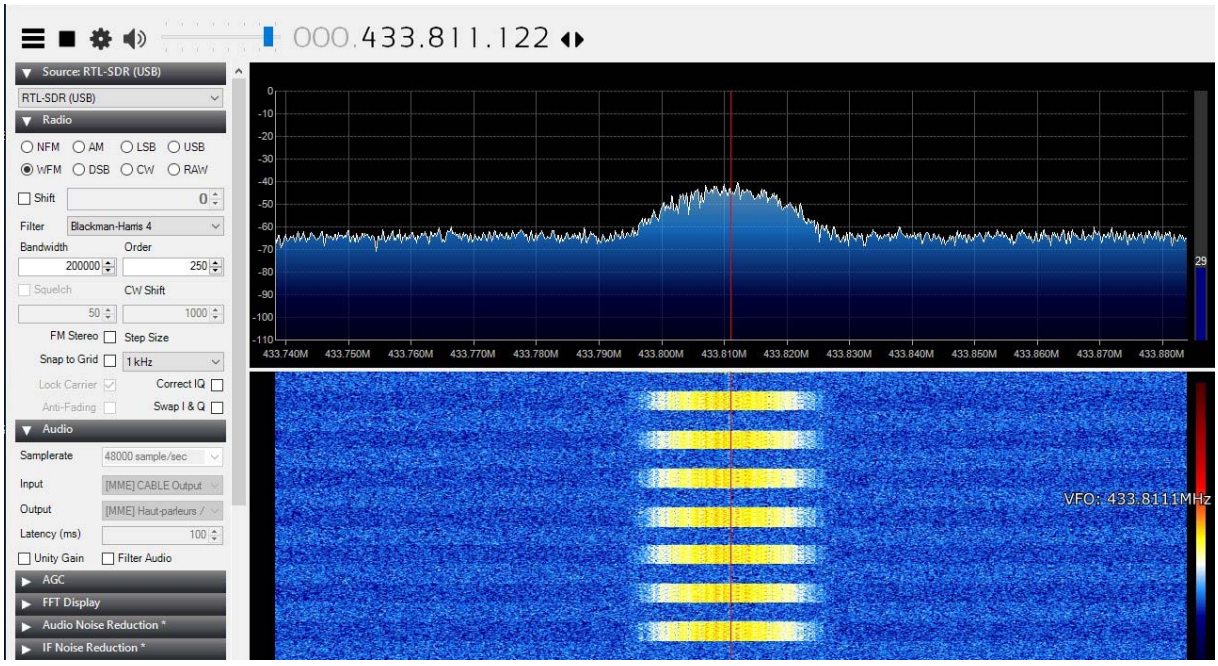
On souhaite comparer la bande passante d'une modulation GMSK avec une modulation BPSK à 100Kb/s
Le coefficient de Roll off est de 0.35
Calculez théoriquement l'occupation spectrale d'une modulation BPSK

✍

Le schéma du modulateur GMSK sous GNU RADIO est le suivant :



Relevez approximativement sous SDRSHARP l'occupation spectrale du signal GMSK, conclure.



Les modulations numériques : La modulation OFDM

Les fondamentaux du cours

Représenter la forme du spectre d'un signal modulé en OFDM

✍

Etablir le schéma bloc d'un codeur OFDM

✍

Quel écart de fréquence doit exister entre chaque sous porteuse afin de respecter l'orthogonalité. L'orthogonalité se vérifie lorsque le spectre d'une sous porteuse s'annule au point ou le spectre d'une sous porteuse adjacente est maximum.

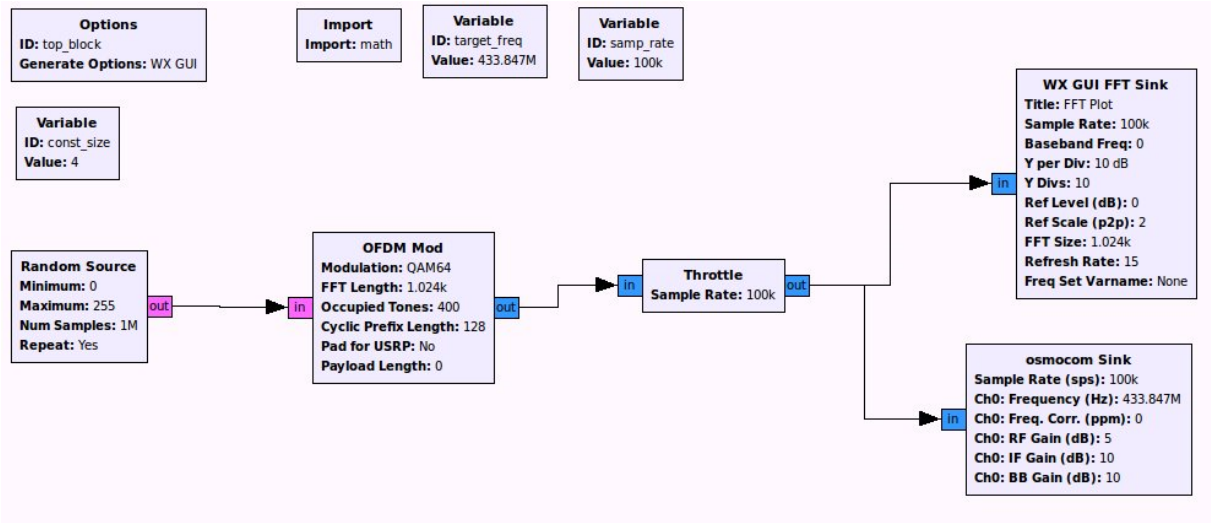
✍

Quel élément dans la modulation OFDM permet de s'affranchir de l'IES

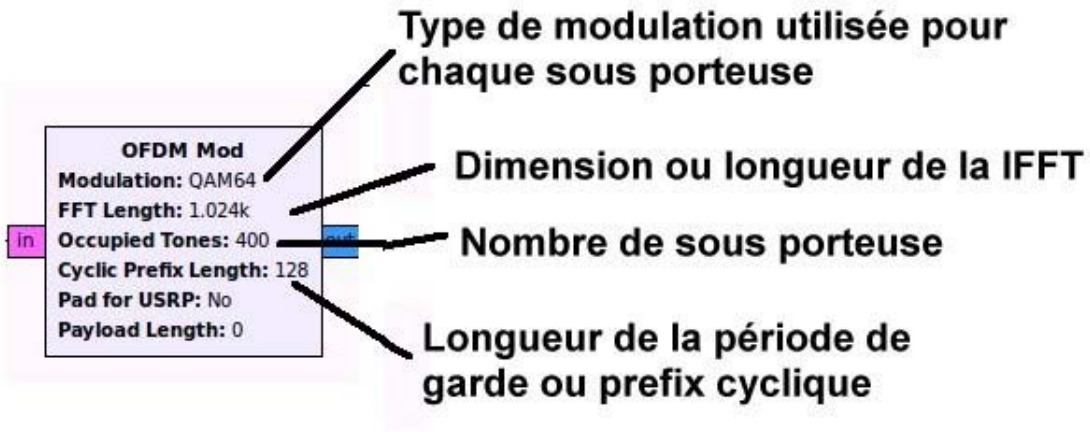
✍

On souhaite vérifier l'étendue spectrale de la modulation OFDM en utilisant GNURADIO et SDRSHARP.
L'émission et la modulation OFDM sera réalisée sous GNURADIO

Le schéma sous GNURADIO est le suivant :



Le bloc OFDM Mod permet la réalisation de la modulation OFDM



La bande passante du signal OFDM est donnée par la formule suivante :

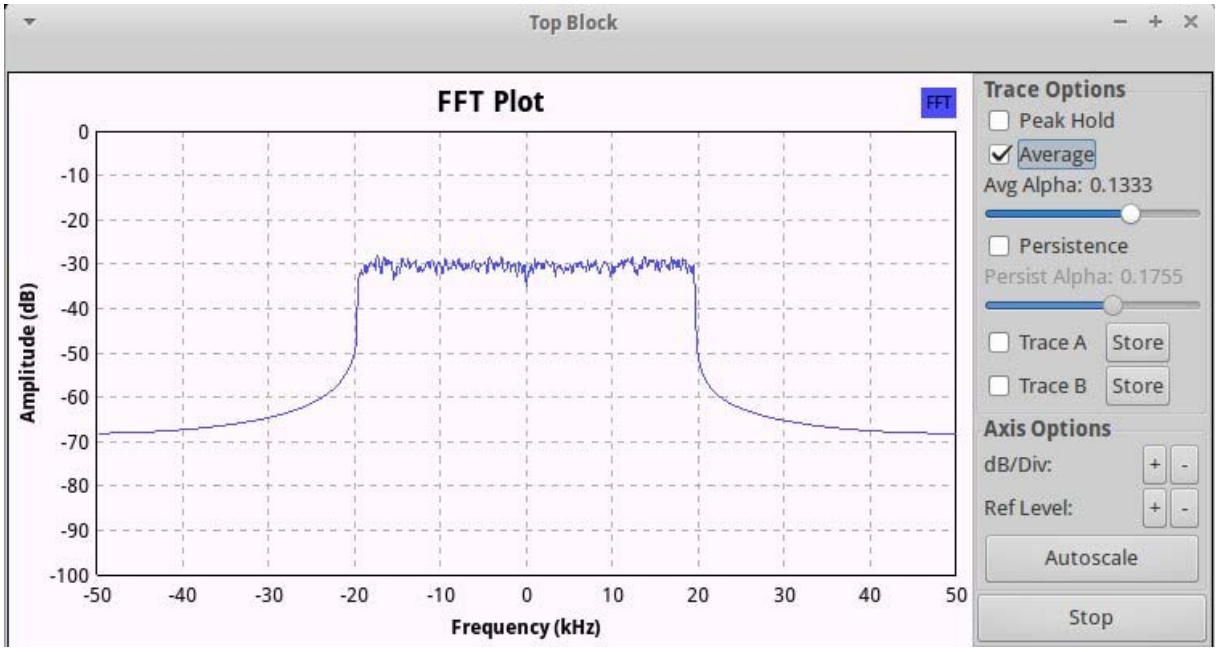
$$B = \frac{samples\ rates \times nombre\ de\ tonalités\ occupées}{Dimension\ ou\ longueur\ de\ la\ IFFT}$$

Le taux de données est le suivant :

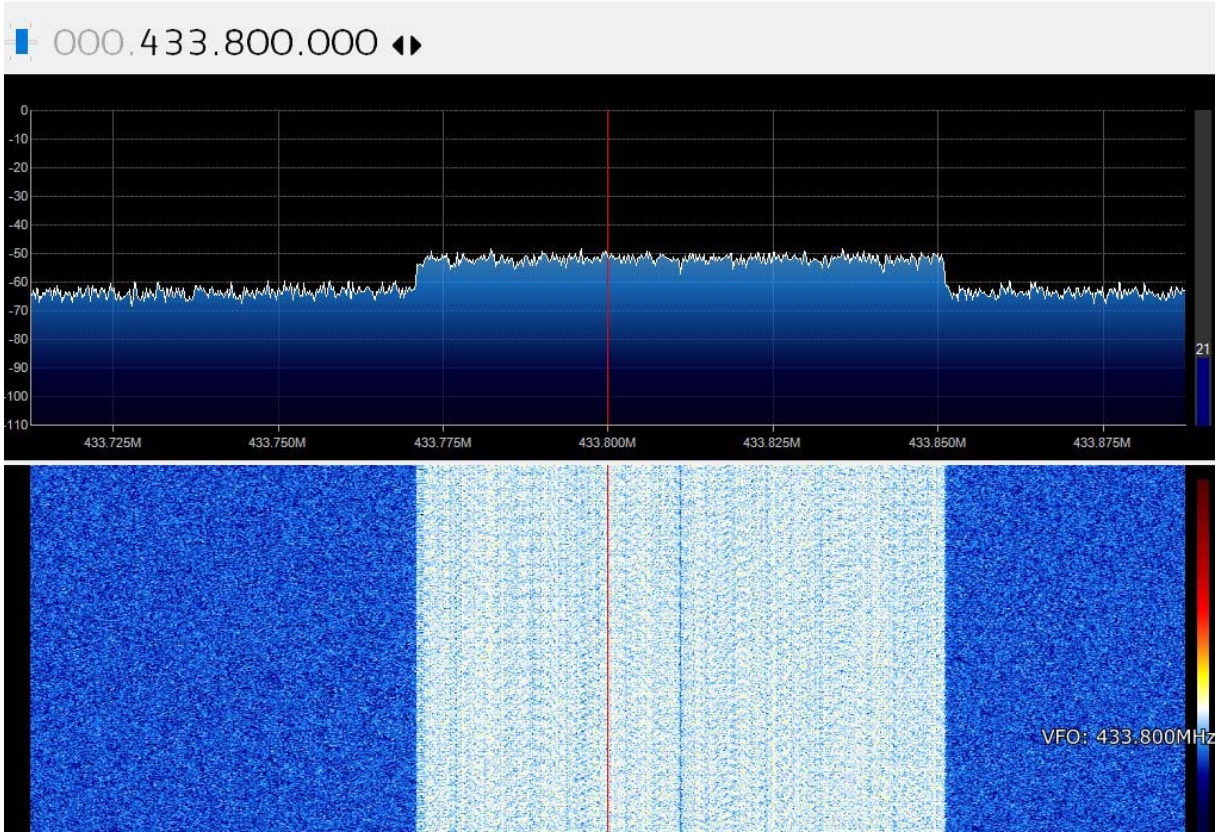
$$R = \frac{samples\ rates \times Ld\ \times \log_2 M}{N \times (1 + \frac{CP_{length}}{N})}$$

R : Débit binaire utile
Samples rates : taux d'échantillonnage en b/s
Ld : Nombre de tonalités occupées
M : Valence :
N : dimension de la IFFT
CP length : longueur du préfixe cyclique

Le graphe de la FFT sous GNURADIO est le suivant :



Relevez sous SDRSHARP L'étendue spectrale du signal modulé OFDM.



Justifiez théoriquement cette étendue spectrale.

✍

En déduire le débit binaire utile

✍

Pour respecter l'orthogonalité des sous porteuses calculez approximativement la période symbole TS ainsi que la période de garde TCP.

✍

Rappel Mathématique

$$e^{ix} = \cos(x) + i\sin(x)$$

$$\cos(x) = \frac{e^{ix} + e^{-ix}}{2} \ , \ \sin(x) = \frac{e^{ix} - e^{-ix}}{2i}$$

$$\cos^2(x) + \sin^2(x) = 1$$

$$\cos(a+b) = \cos(a)\cos(b) - \sin(a)\sin(b)$$

$$\cos(a-b) = \cos(a)\cos(b) + \sin(a)\sin(b)$$

$$\sin(a+b) = \sin(a)\cos(b) + \cos(a)\sin(b)$$

$$\sin(a-b) = \sin(a)\cos(b) - \cos(a)\ sin(b)$$

$$\tan(a+b) = \frac{\tan(a) + \tan(b)}{1 - \tan(a)\tan(b)} \ ; \ a, b, a+b \neq \tfrac{\pi}{2}(mod.\pi)$$

$$\cos(a)\cos(b) = \frac{1}{2}[\cos(a+b) + \cos(a-b)]$$

$$\sin(a)\sin(b) = \frac{1}{2}[\cos(a-b) - \cos(a+b)]$$

$$\sin(a)\cos(b) = \frac{1}{2}[\sin(a+b) + \sin(a-b)]$$

$$\cos(p) + \cos(q) = 2\cos\left(\frac{p+q}{2}\right)\cos\left(\frac{p-q}{2}\right)$$

$$\cos(p) - \cos(q) = -2\sin\left(\frac{p+q}{2}\right)\sin\left(\frac{p-q}{2}\right)$$

$$\sin(p) + \sin(q) = 2\sin\left(\frac{p+q}{2}\right)\cos\left(\frac{p-q}{2}\right)$$

$$\cos(2a) = \cos^2(a) - \sin^2(a) = 2\cos^2(a) - 1 = 1 - 2\sin^2(a)$$

$$\sin(2a) = 2\sin(a)\cos(a)$$

$$\cos^2(a) = \frac{1 + \cos(2a)}{2} \ , \ \sin^2(a) = \frac{1 - \cos(2a)}{2}$$

En posant t $= \tan\left(\frac{a}{2}\right)$ on a : $\cos(a) = \frac{1-t^2}{1+t^2}$, $\sin(a) = \frac{2t}{1+t^2}$, $\tan(a) = \frac{2t}{1-t^2}$