

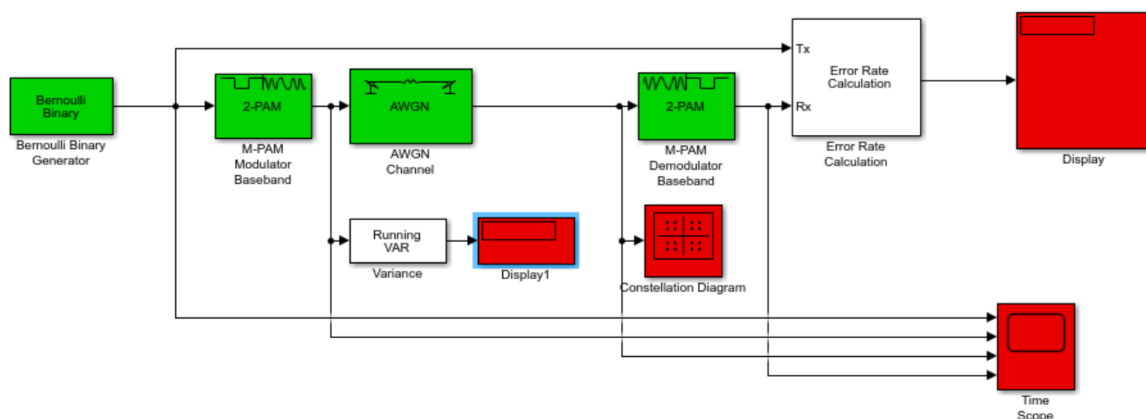
## Télémessures et Transmission

### TP1 : Transmissions numériques en bande de base

L'objectif de ce TP est d'étudier 2 chaînes complètes de transmission en bande de base grâce à Simulink, l'environnement numérique de Matlab. Le type de code étudié ici sera de type NRZ (non return to zéro) et la différence entre les 2 chaînes sera le nombre de symboles définis. La première transmission aura 2 symboles  $+a$  et  $-a$  et la deuxième en aura 4,  $+3b$ ,  $+b$ ,  $-b$  et  $-3b$ .

Commençons par étudier la première chaîne.

#### 2) Pratique -Simulations :

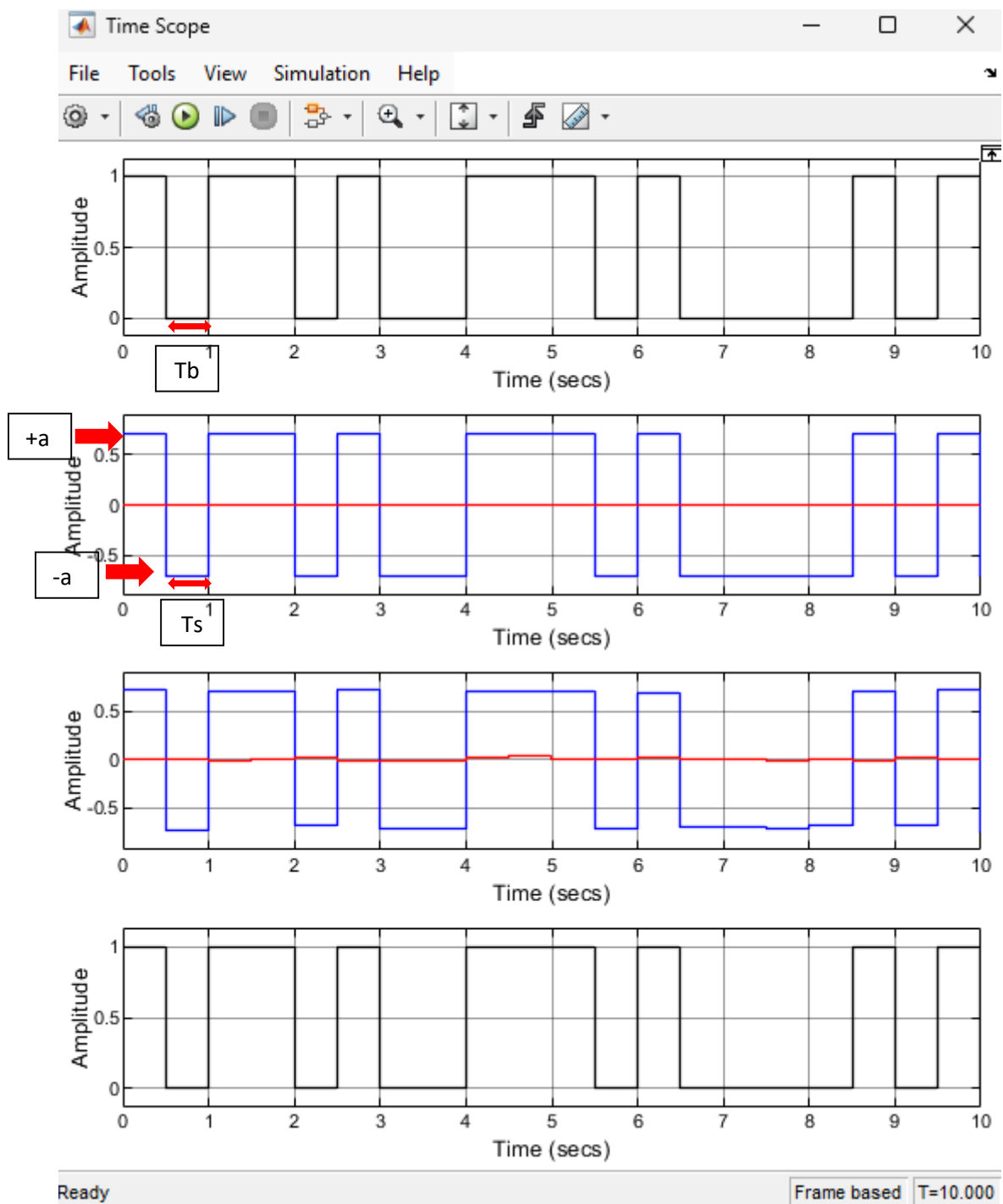


#### a) Simulation d'une transmission binaire

Après avoir copier et lancé le fichier Simulink « SimulNRZ2 », le professeur référant nous a défini les paramètres de notre système afin de commencer les mesures. Une fois tout cela fait on peut lancer notre fichier et on observe les graphes obtenus dans le bloc « Timescope » représentant dans l'ordre : le signal binaire envoyés en entrée, le signal en sortie du bloc M-PAM Modulator Baseband ( qui crée les symboles de notre système), le signal en sortie du bloc AWGN Channel ( qui ajoute un bruit blanc additif gaussien a notre signal d'où son nom « Add White Gaussian Noise ») et enfin le signal en sortie du bloc M-

PAM Demodulator Baseband qui restitue la suite binaire après tous ces changements.

- Observons ces graphiques :



En observant les 2 premier graphe du Timescope, représentant en premier la suite binaire pure et en deuxième l'ajout de symbole on va pouvoir reprendre certaines mesures comme :

La durée d'un bit  $T_b$  : 0.5sec

La durée d'un symbole (même valeur que  $T_b$  car ici 1 bit = 1 symbole)  $T_s$  : 0.5s

Enfin on observe les valeurs max et min du deuxième graphe pour savoir les valeurs de nos 2 symboles -a et +a qui valent environ respectivement -0.709 et 0,709.

Maintenant avec ces valeurs on peut réaliser certains calculs afin d'obtenir certaines données importantes, voyons cela :

Le débit binaire est le rapport de bits transmis par secondes où

$$D = 1/T_b = 1/0,5s = 2 \text{ bits /secondes}$$

La rapidité quant à elle représente le nombre de symboles transmis par secondes où  $R = 1/T_s = 1/T_b = 1/0,5s = 2 \text{ bits/seconds} = 2 \text{ Bauds}$  (= au débit car ici 1 symbole vaut 1 bit).

Enfin la puissance moyenne de notre signal peut être calculé en réalisant la moyenne statistique du carré des valeurs des différents symboles :

$$((+a)^2 + (-a)^2)/2 = 2a^2/2 = a^2 = 0,709^2 = 0.5026$$

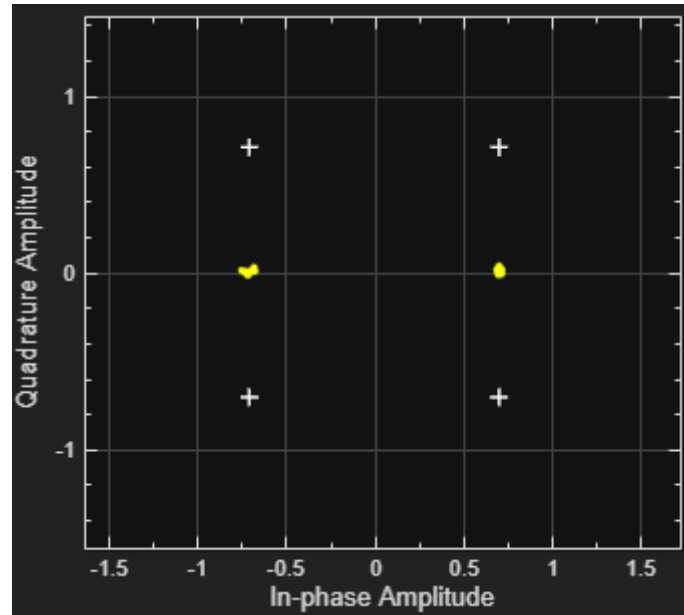
On peut valider notre mesure en observant la valeur dans le display de notre système qui nous donne 0.5238 donc très proche de notre valeur calculée.

Notre puissance est donc cohérente.

Pour la comparaison du signal en sortie du bloc AWGN avec celui en entrée on observe le troisième graphe (c'est celui en sortie du bloc AWGN) et le premier (le signal en entrée). On observe que Le signal en sortie du bloc AWGN et quasiment similaires à celui en entrée cependant il y a un bruit blanc qui a été ajouté par le bloc AWGN (Add White Gaussian Noise). En effet on remarque de

légères oscillations sur la transmission des données, mais pour l'instant l'ajout du bruit n'a pas d'impact sur la restitution du signal.

- **Diagramme Constellation :**



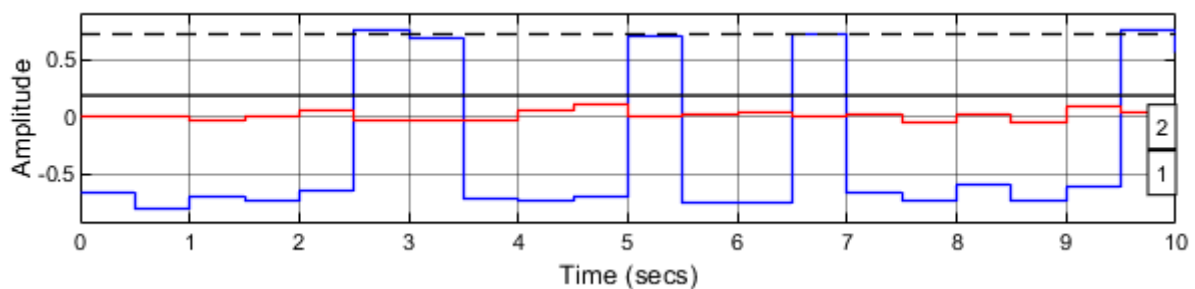
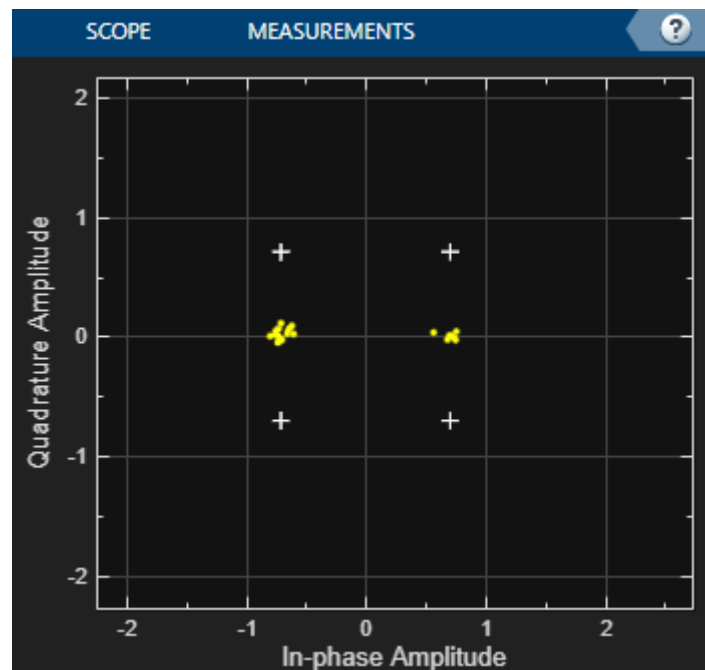
Le diagramme constellation représente la modulation d'amplitude du signal après ajout du bruit. Comme nous codons sur 2 symboles (1 symboles=1 bit) donc sur  $2^n$  avec  $n=1$  (nb de bits) on n'observe que 2 points sur notre modulation d'amplitude (points jaunes). Ce type de modulation est appelé 2-ASK ou BPSK pour Binary. Cependant Sur nos 2 valeurs à -a et +a en amplitude on observe, en zoomant, pleins de points différents espacés autour des valeurs de a. Ce phénomène est dû aux bruits ajoutés qui fait varier notre valeur très légèrement.

- **Estimation du niveau de bruit grâce aux diagrammes d'états :**

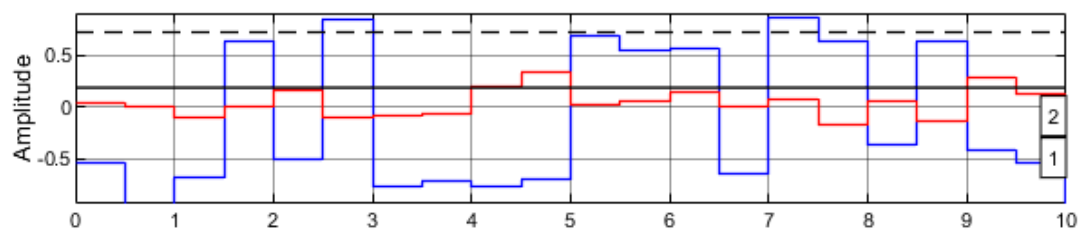
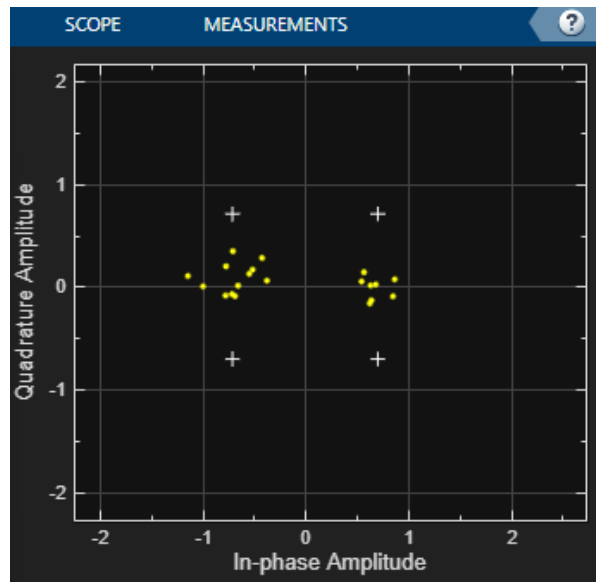
Pour mieux assimiler le fonctionnement des diagrammes d'états nous allons faire varier la valeur du rapport  $E_s/N_0$  qui est le rapport de l'énergie d'un symbole sur la densité spectrale de puissance du bruit :

Rapport  $E_s/N_0$  :

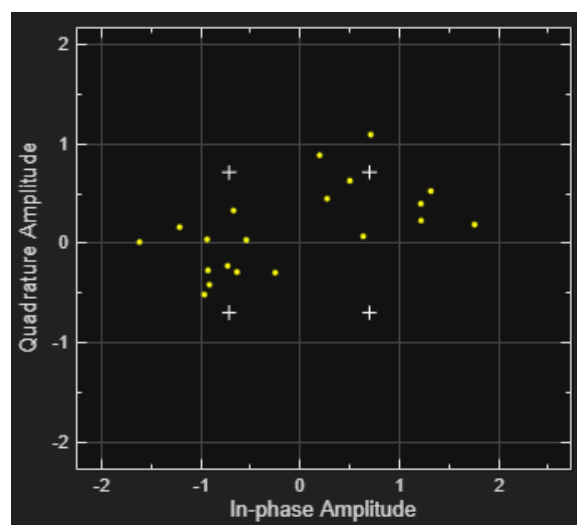
**20dB :**

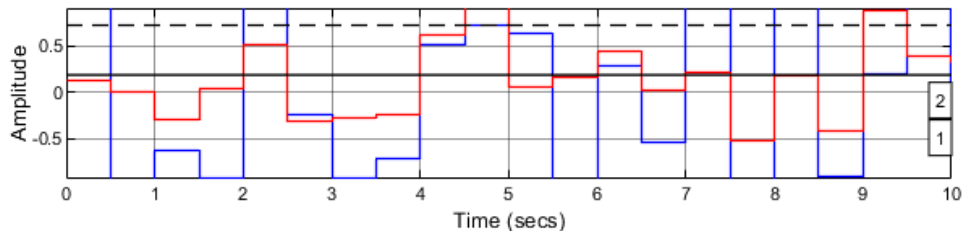


**10dB :**



**0dB :**





On observe donc que en modifiant ce rapport en le diminuant de 20 à 10 puis 0dB, les différents points du diagramme d'états s'éloignent de plus en plus des valeurs -a et +a. Ce qui est logique car en diminuant ce rapport cela revient à dire que l'énergie d'un symbole se rapproche de la valeur de la densité spectrale du bruit donc plus on le diminue plus le bruit prend de l'importance et moins notre symbole est important dans nos diagramme d'états.

Le paroxysme de ce phénomène est atteint en 0 car cela veut dire que l'énergie d'un symbole n'est plus prise en compte et uniquement la densité du bruit est utilisée. Donc en 0 les points sur le diagramme d'états sont à des endroits très éloignés des valeurs de référence et rien d'autres à part le bruit est transmis.

- **Mesure des valeurs du taux d'erreur binaires**

/	0dB	1dB	2dB	3dB	4dB	5dB	6dB
teb	0.0692	0.0504	0.035	0.022	0.012	0.006	0.002
teb théorique	0.056	0.023	0.017	0.013	0.01	0.003	0.001
Nb d'erreurs	100	100	100	100	100	100	100
Nb symboles transmis	1386	1941	2599	4126	6799	1.5E+04	4.2 <sup>E</sup> +04

Dans cette partie nous faisons varier la valeur de ES/N0 de 0 à 6dB et nous reportons le taux d'erreur données par le bloc display pour le comparer à sa valeur théorique que nous avons calculée. Ces valeurs sont des pourcentages donc à 0dB il y a 6% d'erreur et a 6dB il y a 0.2% d'erreur.

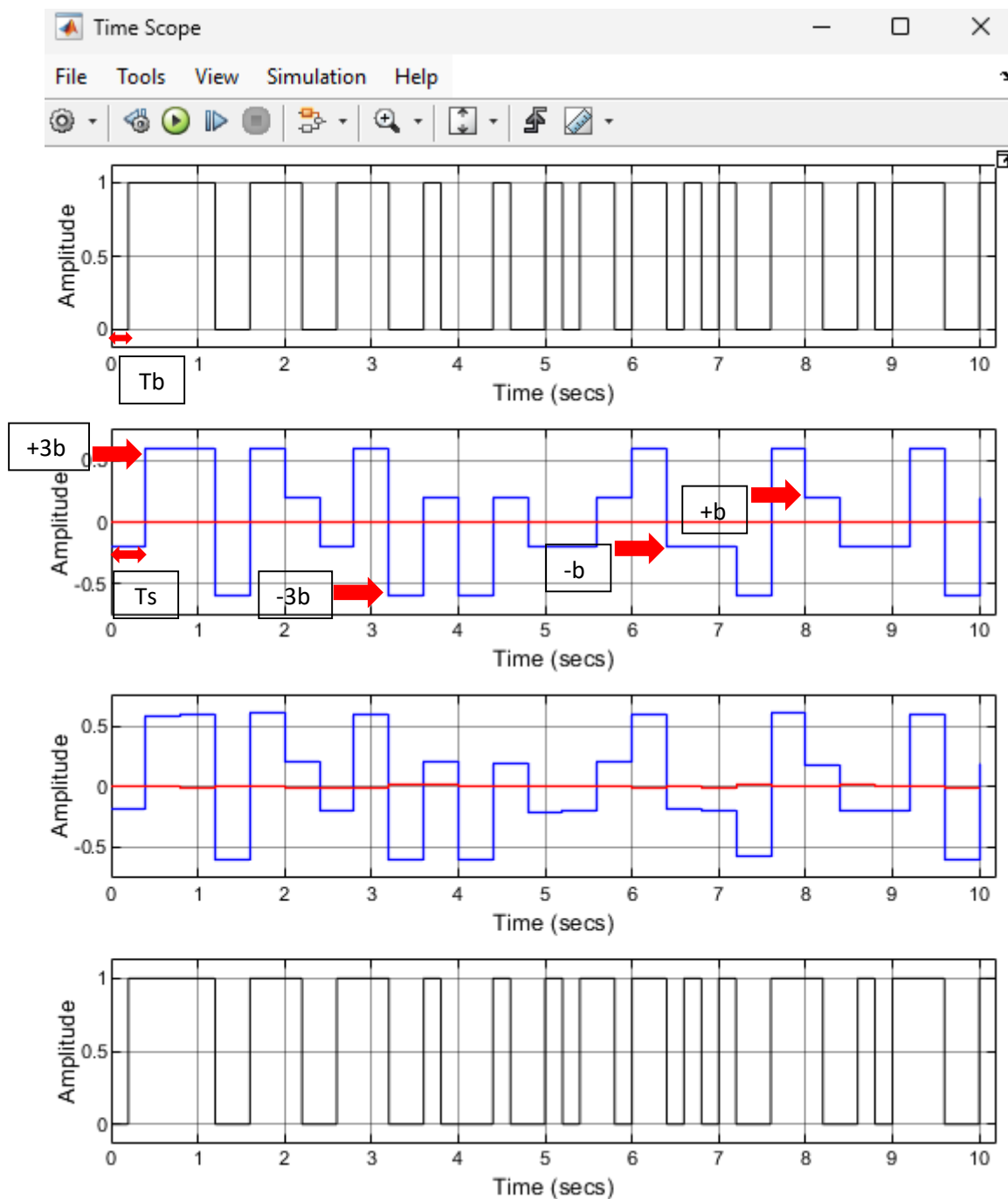
Avec ces valeurs on peut dire que nos valeurs pratique sont assez proches des valeurs théoriques, l'ordre de grandeur est respecté. On peut conclure que plus on s'approche de 0dB plus l'erreur grandit, ce qui est logique car plus on décroît plus le bruit prend de l'importance.

## b) simulation d'une transmission en mode quatre états

Dans cette partie nous allons réaliser la même étude que pour la partie précédente sur 2 symboles mais ici nous aurons 4 états possible.

Nous copions le fichier « SimulNRZ4 » et après le paramétrage effectuer par notre professeur on peut commencer l'étude.

Le schéma de principe est similaire au précédents, on peut donc commencer une simulation et visualiser les graphiques sur le bloc TimeScope :





Pour répondre aux premières questions de cette partie nous allons regarder d'abord le premier graphe qui représente le signal binaire en entrée ainsi que le deuxième qui représente les symboles transmis. Donc ici 1 symbole sera égale à 2 bits avec pour chaque combinaison de bit un symbole associé :

La durée d'un bit :  $T_b = 0.2s$

La durée d'un symbole :  $T_s = 2 * T_b = 2 * 0.2 = 0.4s$

Les valeurs des 4 symboles possible sont :

+3b	0.6
+b	0.2
-b	-0.2
-3b	-0.6

Et en observant les combinaisons de 2 bits sur le graphe n°1 on peut retrouver sur le graphe n°2 à quel symbole cette combinaisons est associé. Par exemple pour les 2 premiers bits transmis on observe 01 et sur le deuxième graphe la valeur est a -b, donc 01=-b :

+3b	11
+b	10
-b	01
-3b	00

Maintenant avec les valeurs reportées on peut calculer celles-ci :

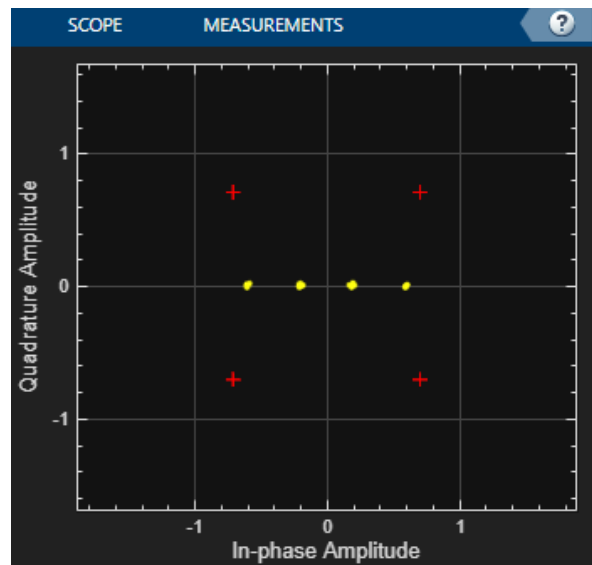
Le débit binaire :  $D = 1/T_b = 1/0.2 = 5 \text{ bits/secondes}$

La rapidité de modulation :  $R = 1/T_s = 1/2T_b = 1/0.4 = 2,5 \text{ bauds}$

Puissance moyenne (somme des symboles au carré sur le nombres de symbole)  
:  $((3b)^2 + b^2 + (-b)^2 + (-3b)^2) / 4 = (0.36 + 0.04 + 0.04 + 0.36) / 4 = 0.2W$

Dans le bloc Display on peut observer une puissance moyenne de 0.1942W ce qui est sensiblement la même valeur donc notre calcul est cohérent.

- **Diagramme Constellation :**

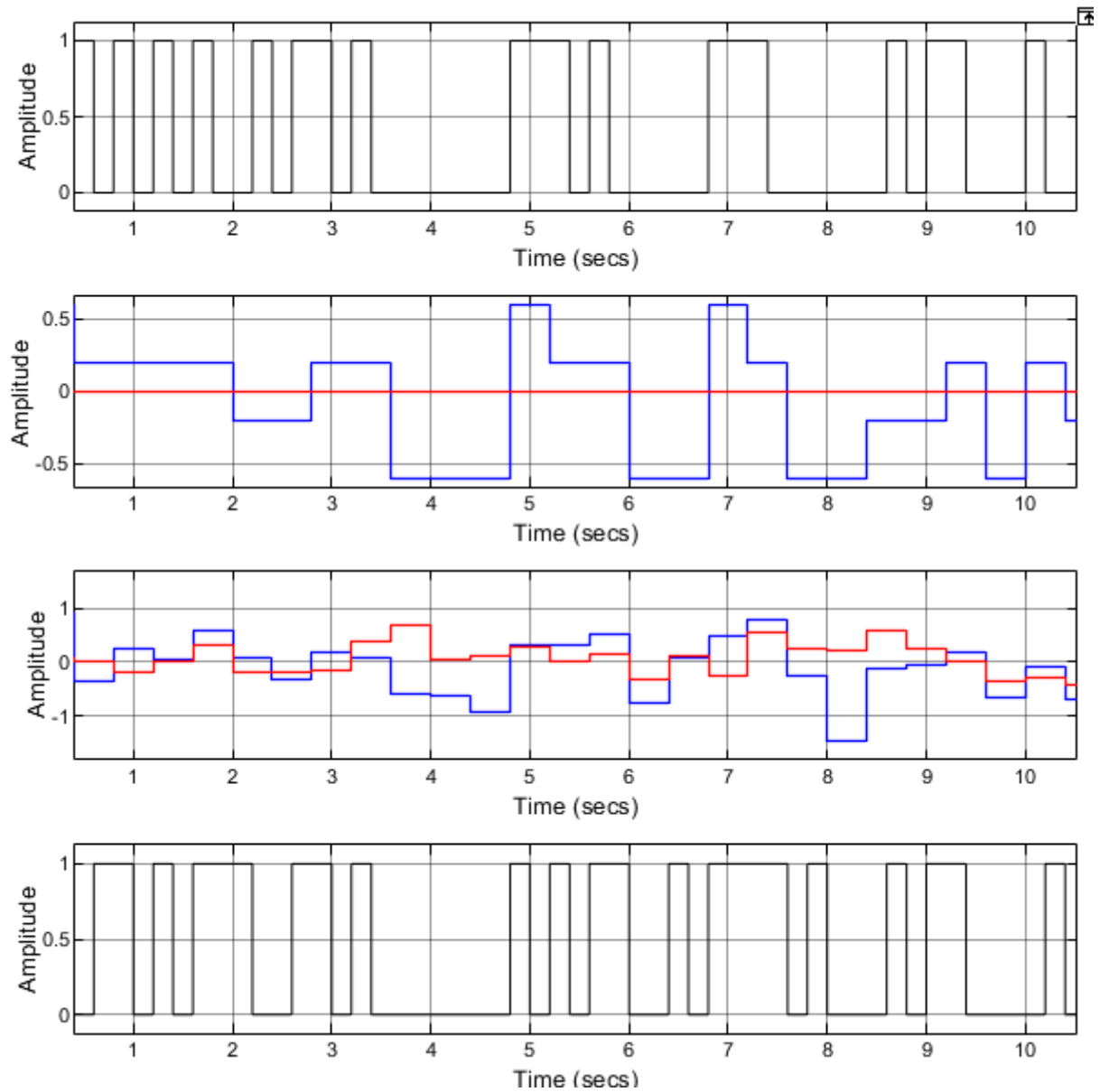


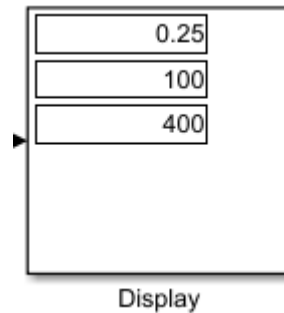
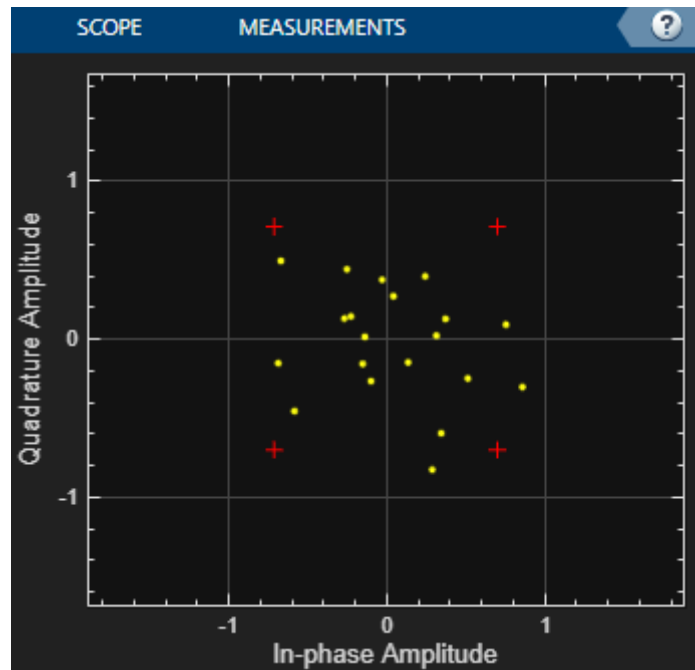
Comme pour la partie a) le diagramme d'états représente le nombre de symboles possible par notre système soit  $2^n$  avec  $n$  étant le nombre de bits par symbole. Donc ici il y a 2 bits par symbole donc  $2^2=4$ , soit les 4 symboles que nous étudions ici. Il y a donc bien 4 points sur notre diagramme d'états situé exactement à nos 4 valeurs  $3b$ ,  $b$ ,  $-b$  et  $-3b$  en amplitude. On peut aussi signaler que nos points sont à 0 en quadrature car nous envoyons un signal carré avec donc un  $\phi$  nul, ce qui crée aucune oscillation dans sa représentation.

Comme précédemment il y a une multitude de points à nos valeurs de  $b$  si l'on zoome dessus car nous implémentons du bruit sur nos signal ce qui crée de légères oscillations.

- **Mesure du Taux d'erreur**

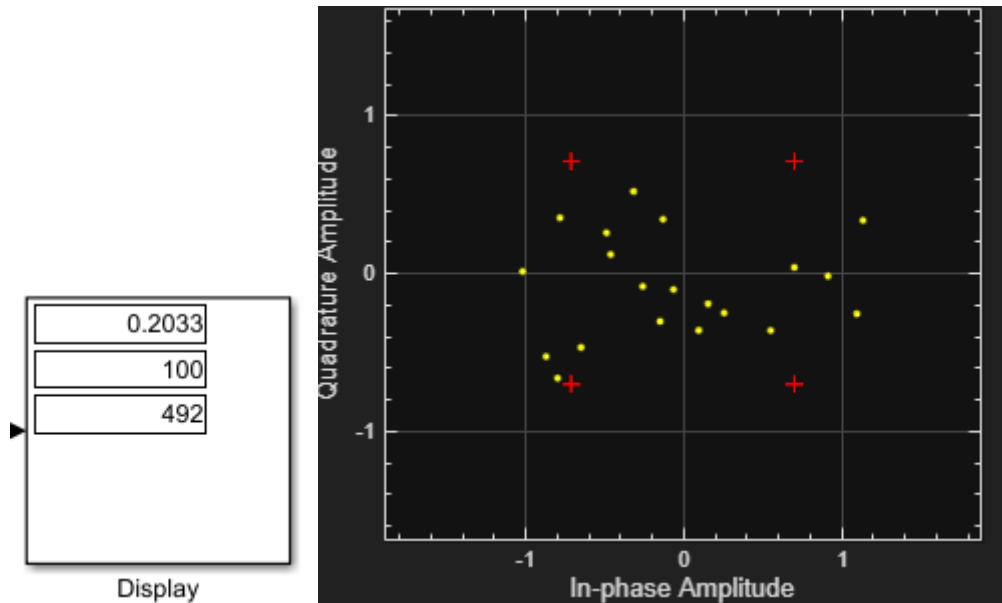
Nous prenons bien garde à exécuter la simulation sur une durée infinie avant de lancer la simulation. A 0dB on observe la valeur de  $t_{eb}$  ainsi que les graphiques :





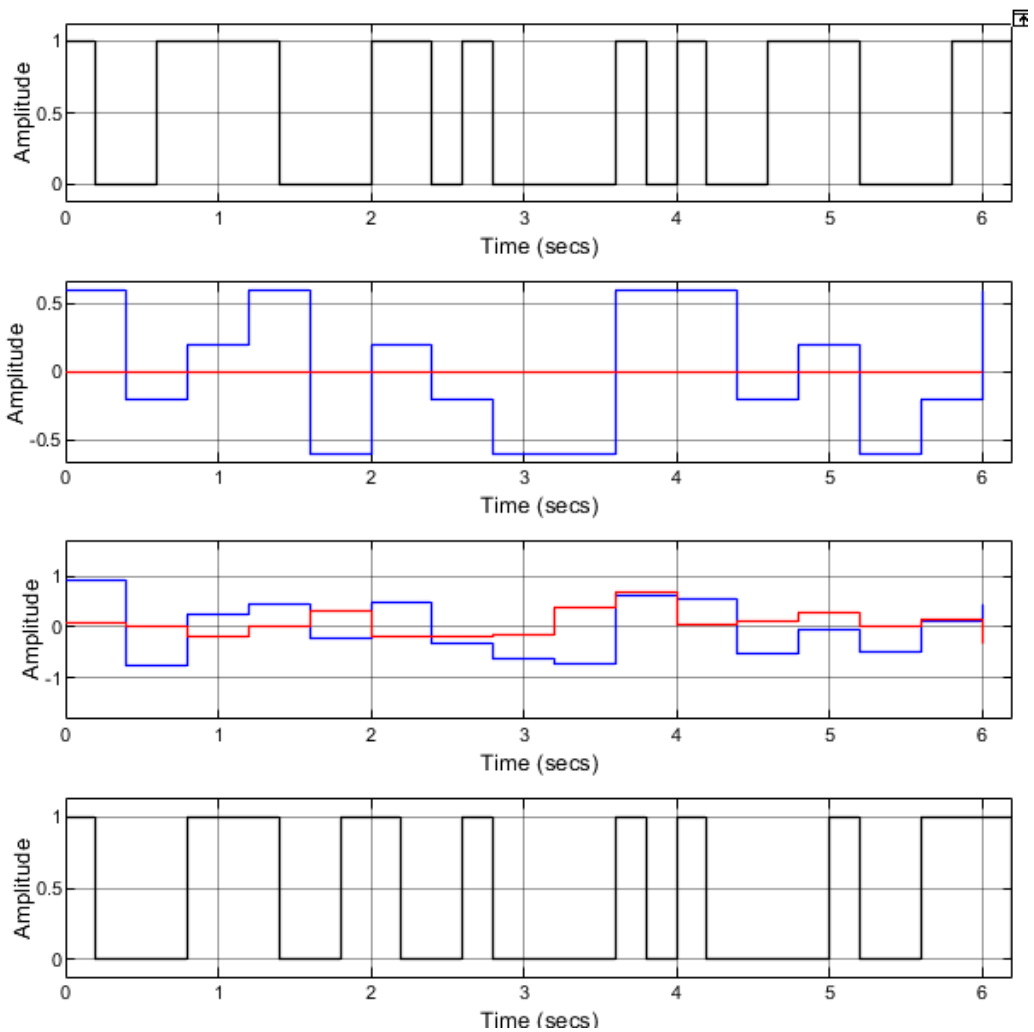
On observe pour  $E_s/N_0$  de 0db un  $T_{eb}$  de 0,25 soit 25% d'erreur sur la transmission. C'est bien plus grand que le BPSK qui avait un taux à 0dB de 7% (0.069). Cette augmentation est logique car plus l'espace entre les états sur notre diagramme est petite plus il y a d'erreur. Or ici entre 2 états il y a 2b de différence soit 0.4 et dans la première partie il y avait 2a entre les 2 états donc  $2 \times 0.709 = 1.4$  donc la distance est plus grande en première partie donc moins d'erreur, c'est ce que l'on trouve ici graphiquement et par le calcul. Il n'y a aussi plus de sens sur le diagramme de constellations aux niveaux des points car comme précédemment à  $E_s/N_0 = 0\text{dB}$  il n'y a que le bruit pris en compte donc le diagramme est chaotique.

Maintenant nous allons fixer le paramètre Constellation ordering sur Gray dans les blocs M-PAM modulator et demodulator, cela signifie que l'on modifie l'ordre dans lequel les symboles modulés sont « mappés ». En choisissant gray on utilise un codage Gray ou codage binaire réfléchi :



En fixant le constellation ordering à « gray » on observe un  $T_{eb}$  de 0.20 donc 20% on a légèrement diminué le taux d'erreur par rapport à avant (on avait 0.25 ou 25%) mais c'est tout ça ne modifie pas énormément ce paramètre non plus.

- Simulation sur quelques secondes :



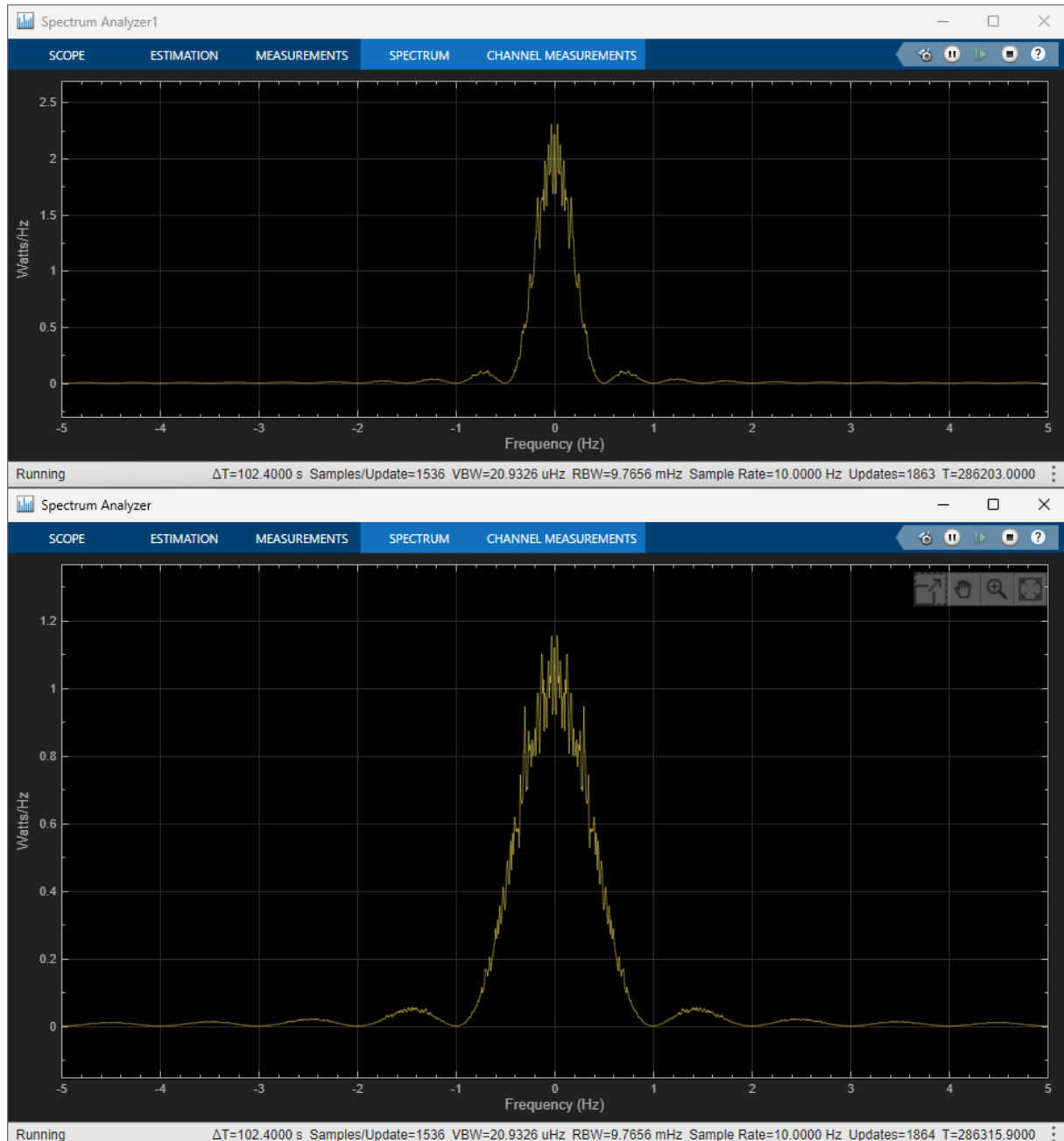
Maintenant on observe une certaine différence, en effet les codes associés aux symboles ont changé :

$+3b$	10
$+b$	11
$-b$	01
$-3b$	00

Les codes pour  $+3b$  et  $+b$  ont été inversés.

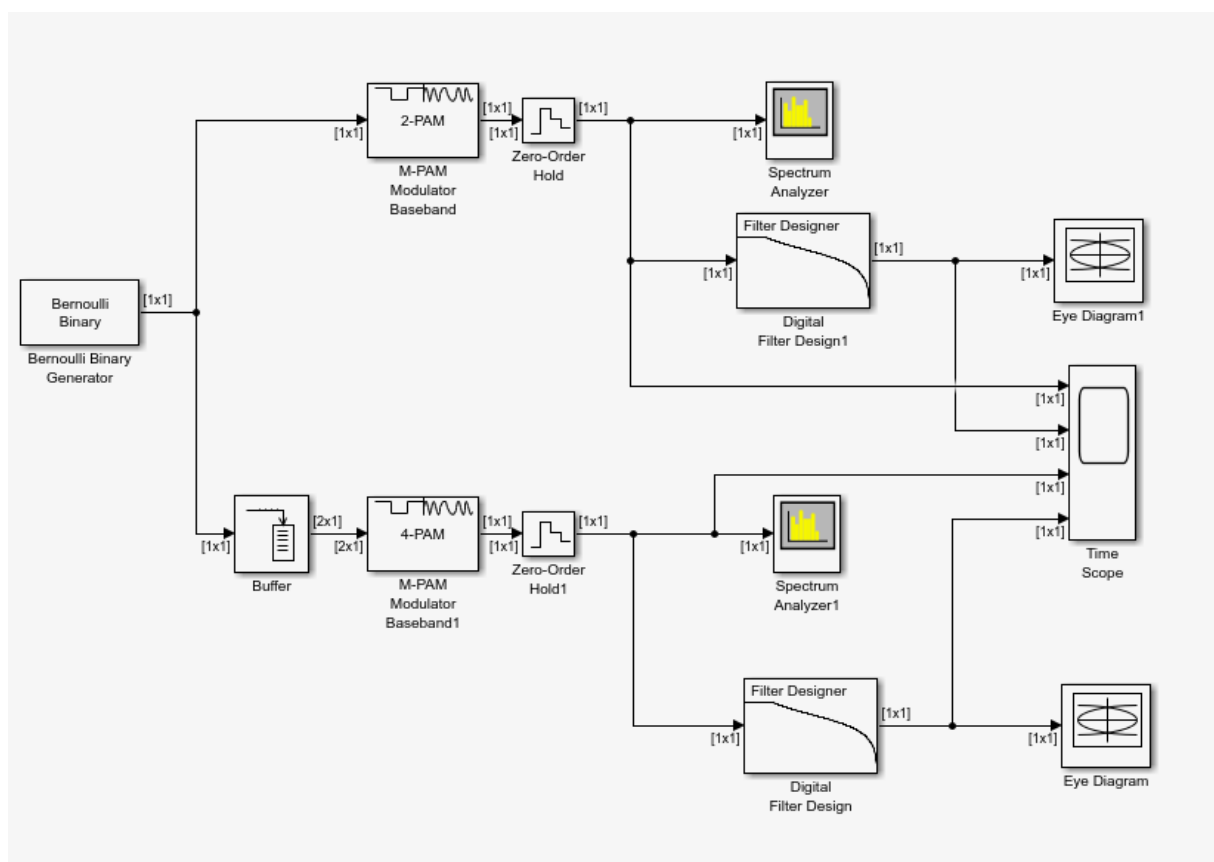
## 2-2) Analyse des spectres et diagrammes de l'œil

Maintenant dans cette partie nous allons ouvrir le fichier « SpectresNRZ » afin d'analyser les spectres des signaux NRZ à 2 et 4 états.

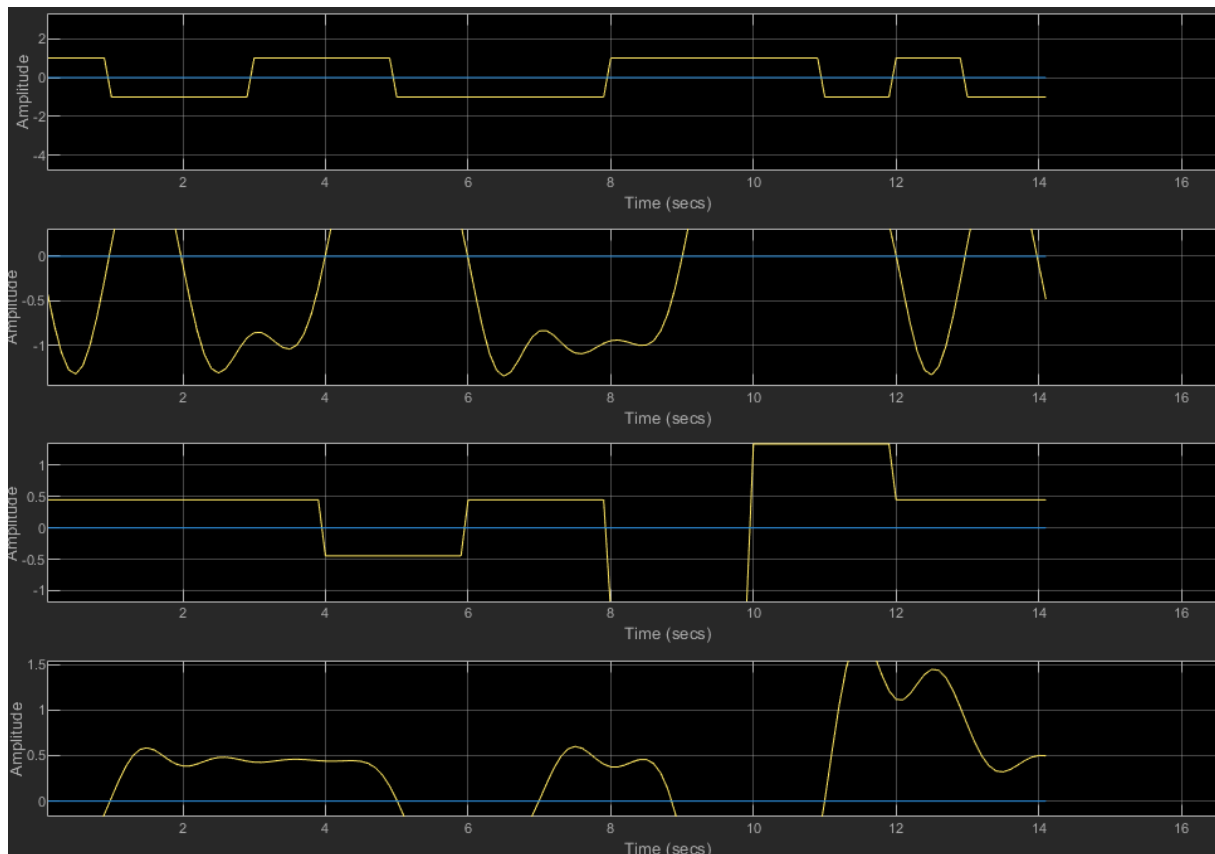


Après la simulation on observe di dessus en haut le spectre à 4 états (4-ASK) et en dessous celui à 2 états (2-ASK). Tout d'abord, les différences entre ces 2 spectres sont que le 2-ASK possède 1bit/symbole avec une durée d'un symbole  $T_s = T_b$  et une bande passante « large ». Tandis que le 4-ASK possède 2bits/symbole, Une durée d'un symbole  $T_s = 2T_b$  et une bande passante plus étroite. On peut donc conclure que sur la bande passante, le 4-ASK en consomme moins pour que le 2-ASK pour un même débit binaire. Mais en revanche elle est plus sensible au bruits (sa  $T_{eb}$  est plus élevé).

- **Analyse des oscillogrammes :**







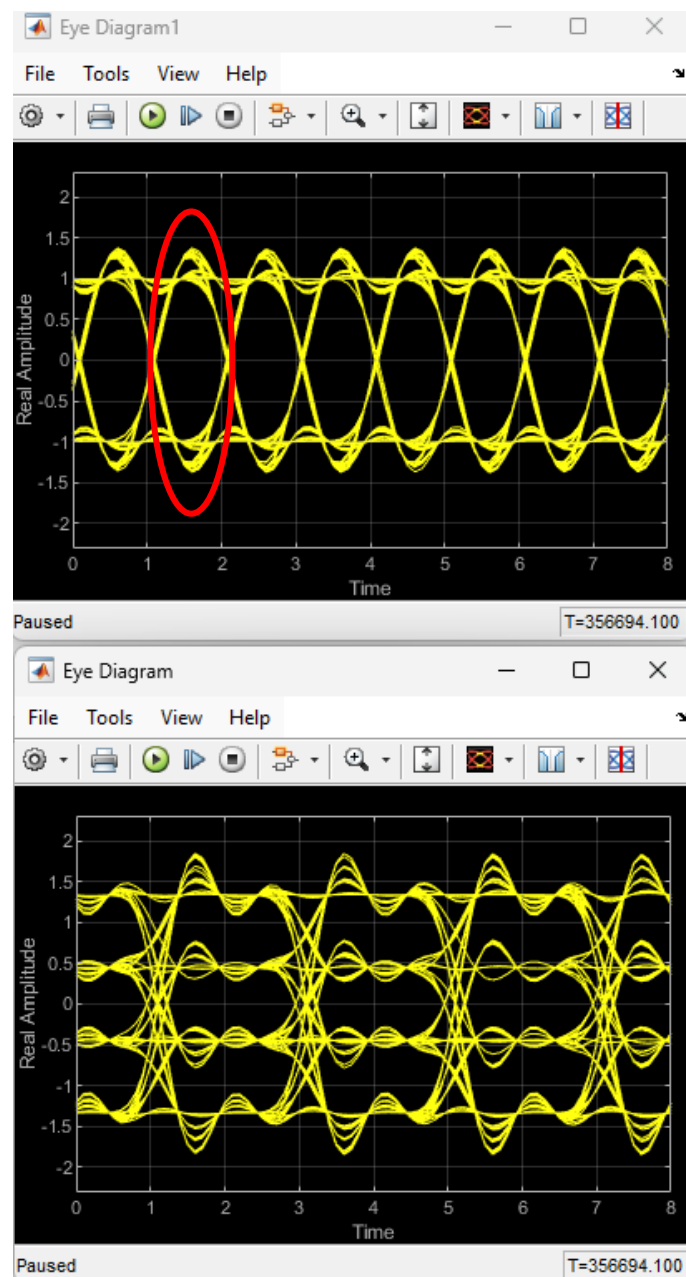
On peut observer sur les oscillogrammes, de haut en bas, le signal 2-ASK avant filtrage, le signal 2-ASK après filtrage, le signal 4-ASK avant filtrage et en dernier le signal 4-ASK après filtrage.

Pour les signaux avant filtrage on observe bien les signaux carrés standard envoyant des signaux codés sur 2 états et sur 4 états (-a et +a et ensuite +3b,+b,-b et -3b). Après le filtrage on observe maintenant des sinusoides. On peut donc dire que le filtre ici est similaires à un passe-bas qui atténue les hautes fréquences, graphiquement on peut dire que les signaux s'apparentent plus à des signaux « analogique ».

On observe un certain suivie entre les signaux entrant et sortant, l'allure reste à peu près semblable. Les signaux sortants oscillent entre nos valeurs des symboles (a et b) mais pour le 4-ASK les différents niveaux sont plus difficiles à observer car maintenant ce sont des pentes et non plus des changements brusque pour les transitions.

- **Diagramme œil :**

Maintenant analysons les diagrammes de l'œil grâce au bloc Eye Diagram. Ce sont des oscillogrammes représentant des données numériques issues d'un récepteur, ici c'est nos signaux après le filtrage. Où plus précisément ce sont des représentations superposées de plusieurs périodes d'un signal numérique filtré (il porte ce nom car si le diagramme est parfait il ressemble à un œil humain).

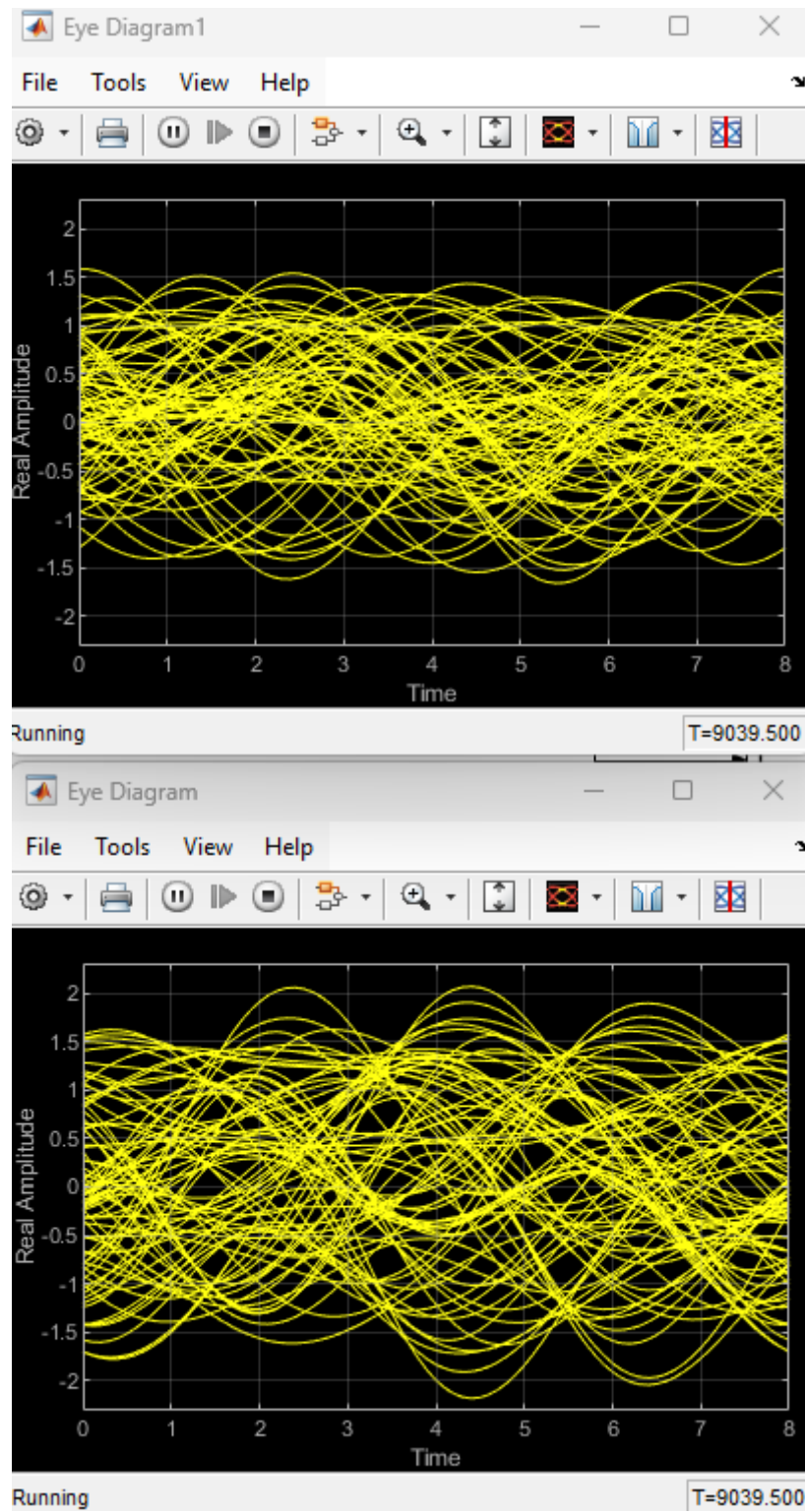


Analysons ces 2 diagrammes. Pour le premier donc le signal à 2 états on peut définir que « l'œil » est bien ouvert (l'œil étant l'espace en forme d'ovale sur le diagramme entouré en rouge). La zone centrale est dégagée ce qui signifie que l'interférence entre les symboles est faible, mais aussi on peut dire que le premier diagramme possède des transitions bien nettes et l'observation est facile. L'ouverture verticale nous montre une bonne tolérance au bruits et l'ouverture horizontale indique un timing précis. On peut aussi relever la présence des 2 valeurs nominales à environ 1 et -1 étant la valeur des symboles de notre signal, lorsque l'œil dépasse la valeur nominale on dit qu'il a une inertie, donc pour le premier elle est assez légère.

Pour le signal à 4 états le diagramme est plus confus et plus complexe à analyser. Il y a en effet plusieurs ouvertures d'œil superposées qui correspondent aux transitions entre les 4 symboles. Effectivement avant avec 2 symboles il n'y avait que 2 transitions possibles (entre 1 et -1 ou entre -1 et 1) or ici il y en a beaucoup plus comme il y a 4 symboles. Ici les transitions sont moins nettes et les ouvertures sont plus fermées. La tolérance au bruit est moindre puisque les niveaux sont proches des autres.

Donc on peut conclure que le signal à 4 états est plus sensible aux dégradations du canal, en effet plus l'œil est ouvert, meilleure est la transmission. Le filtrage passe-bas en limitant la bande passante arrondit les transitions ce qui pose problèmes pour des signaux multiniveaux comme le signal à 4 états. Donc plus il y a de niveaux plus les signaux sont sensibles à la dégradation du signal.

- En modifiant la bande passante a 0.5Hz



En diminuant la bande passante on simule une situation de transmission dans un canal plus restreint en bande passante (comme si on avait des liaisons à longues distances). On observe rapidement que les diagrammes sont bien plus fermés qu'avant, on ne peut plus extraire de données intéressantes il y a un trop grand recouvrement entre les symboles. « L'œil » n'est plus discernable, c'est le signe d'une forte interférence inter-symboles (aussi appelé ISI). Le constat est le même pour les 2 signaux, que ça soit à 2 ou 4 états, il y a une trop grande superposition des transitions. Plus rien de pertinent ne peut être utilisé d'après ces graphiques.

Pour conclure, le changement de bande passante à 0.5Hz à entraîne une forte dégradation du signal, les diagrammes de l'œil n'est plus utilisable et les yeux ne sont plus discernables. Cela montre que plus la bande passante est étroite moins le canal est capable de transmettre des variations rapides des signaux. Il est donc primordial de bien choisir sa bande passante afin de ne pas observer ce phénomène.