



# **Rapport - TP3 : Etude de l'impact du bruit dans la chaine de transmission**

Première année - Département Sciences du Numérique

Julien Blanchon

25 Avril 2020

---

## Table des matières

|  |          |
|--|----------|
| <b>Chaine de référence</b>   | <b>3</b> |
| <b>Première chaine à étudier, implanter et comparer à la chaine de référence</b> | <b>4</b> |
| Implantation de la chaine sans bruit . . . . .                                   | 4        |
| Implantation de la chaine avec bruit . . . . .                                   | 6        |
| <b>Deuxième chaine à étudier, implanter et comparer à la chaine de référence</b> | <b>9</b> |
| Implantation de la chaine sans bruit . . . . .                                   | 9        |
| Implantation de la chaine avec bruit . . . . .                                   | 10       |

## Table des figures

|   |   |    |
|---|---|----|
| 1 | Tracé en log du TEB simulé et théorique de la chaine de référence . . . . .             | 4  |
| 2 | Diagramme de l'oeil en sortie du filtre de réception de la chaine 1 . . . . .           | 5  |
| 3 | Distribution de $z_m$ . . . . .   | 6  |
| 4 | Tracé en log du TEB simulé et théorique de la chaine de 1 . . . . .                     | 7  |
| 5 | Tracé en log du TEB simulé et théorique de la chaine de 1 et la chaine de référence . . | 8  |
| 6 | Diagramme de l'oeil en sortie du filtre de réception de la chaine 2 . . . . .           | 9  |
| 7 | Tracé en log du TES simulé et théorique de la chaine de 2 . . . . .                     | 10 |
| 8 | Tracé en log du TEB simulé et théorique de la chaine de 2 . . . . .                     | 11 |
| 9 | Tracé en log du TEB simulé et théorique de la chaine de 2 et la chaine de référence . . | 12 |

## Chaîne de référence

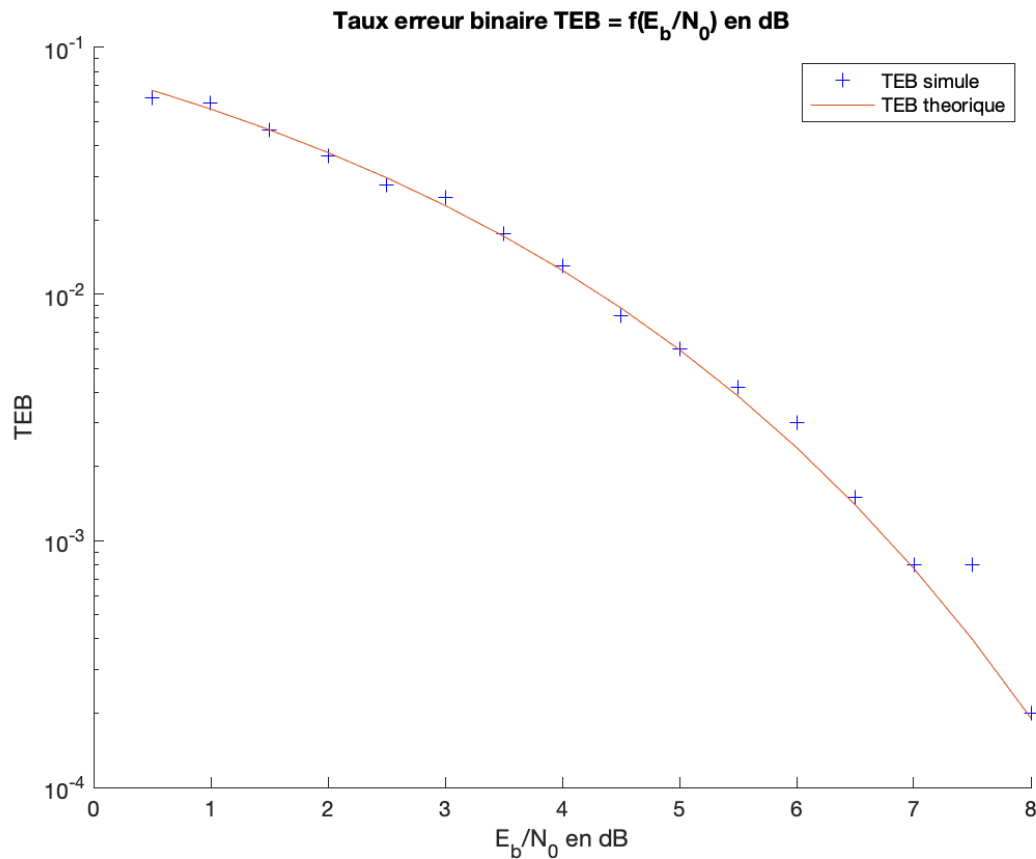
1. Donnez le TEB théorique de la chaîne implantée, en expliquant pourquoi vous utilisez l'expression fournie (quelles sont les caractéristiques de la chaîne qui font que cette expression est la bonne) :

Le  $TEB$  théorique est  $Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right)$  car la chaîne de référence est:

- avec un *filtre mise en forme et de réception, rectangulaires* de durée  $T_s$  et de hauteur 1
- avec *mapping binaire à moyenne nulle* et de symbole *indépendants et équiprobables*
- avec un *bruit blanc et gaussien*, de DSP  $\frac{N_0}{2}$

Donc respecte Nyquist,  $TEB = Q\left(\frac{g(t_0)}{\sigma_w}\right) = Q\left(\frac{T_s}{\sigma_w}\right)$  et  $\sigma_w = \frac{N_0 T_s}{2}$  ainsi  $TEB = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right)$

2. Donnez les tracés superposés sur une même figure du TEB simulé et du TEB théorique afin de valider le bon fonctionnement de votre chaîne de référence.

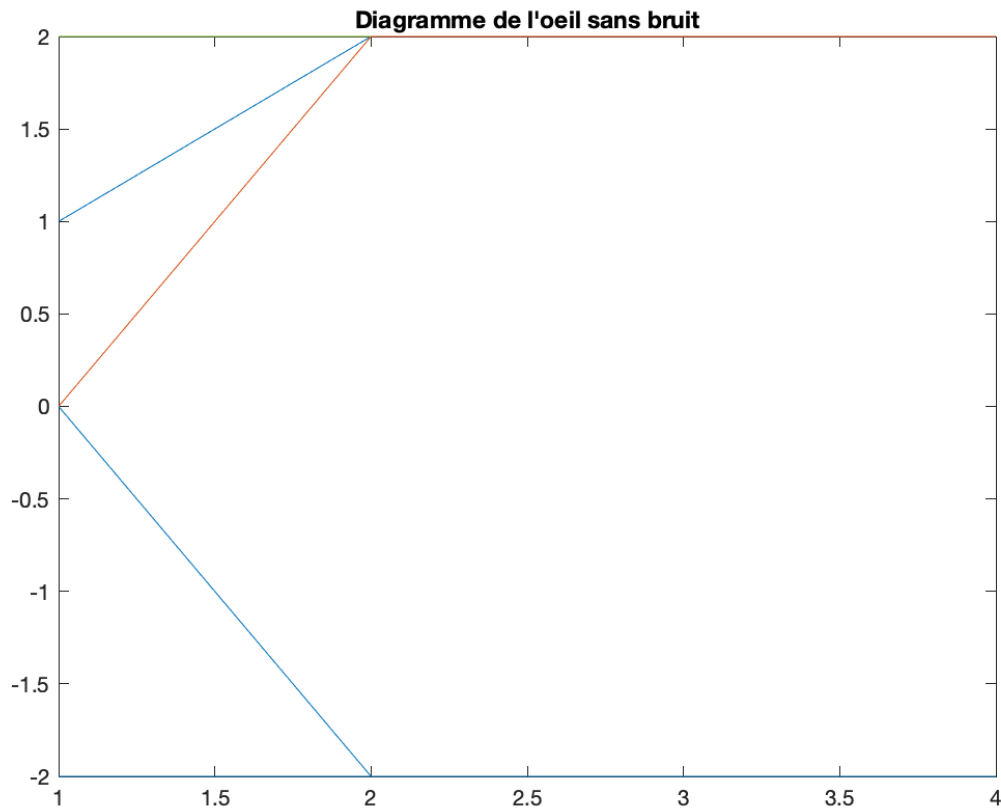


**FIGURE 1** – Tracé en log du TEB simulé et théorique de la chaîne de référence

## Première chaîne à étudier, implanter et comparer à la chaîne de référence

### Implantation de la chaîne sans bruit

1. Utilisez le tracé du diagramme de l'oeil en sortie du filtre de réception sur la durée  $T$  ( $N$  échantillons) pour proposer des instants d'échantillonnage  $t_0 + mT_s$ , en expliquant votre choix.

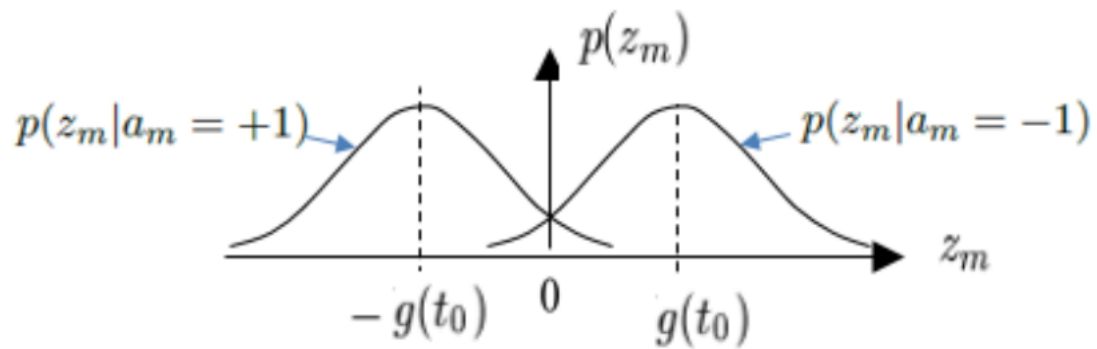


**FIGURE 2** – Diagramme de l'oeil en sortie du filtre de réception de la chaîne 1

L'instant optimal d'échantillonnage est donc 2 pour ne pas avoir d'interférence entre symboles.

2. Proposez le seuil optimal à utiliser ici pour la décision en expliquant votre choix.

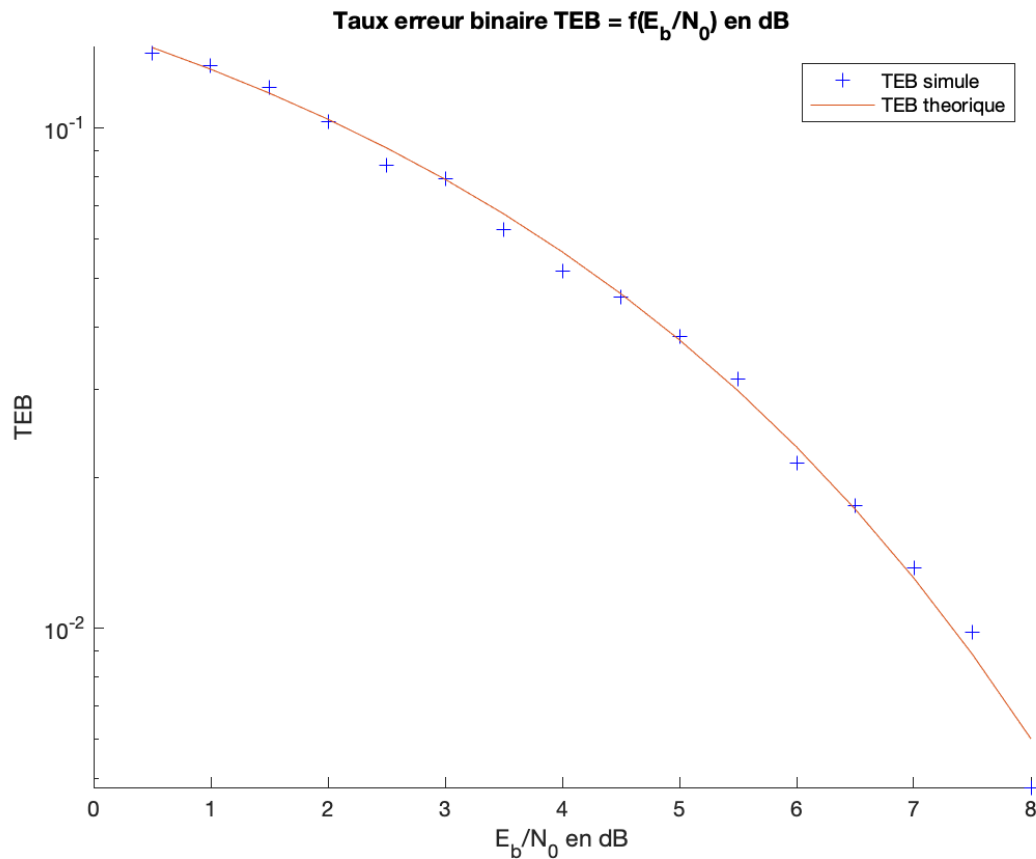
Le seuil optimal avec comme mapping  $a_k \in \{-1, 1\}$  est logiquement  $0 = \frac{(+g(t_0)) + (-g(t_0))}{2}$  car on aura  $z_m = a_m g(t_0)$ , et donc logiquement localisée en  $-g(t_0)$  et  $+g(t_0)$ .



**FIGURE 3** – Distribution de  $z_m$

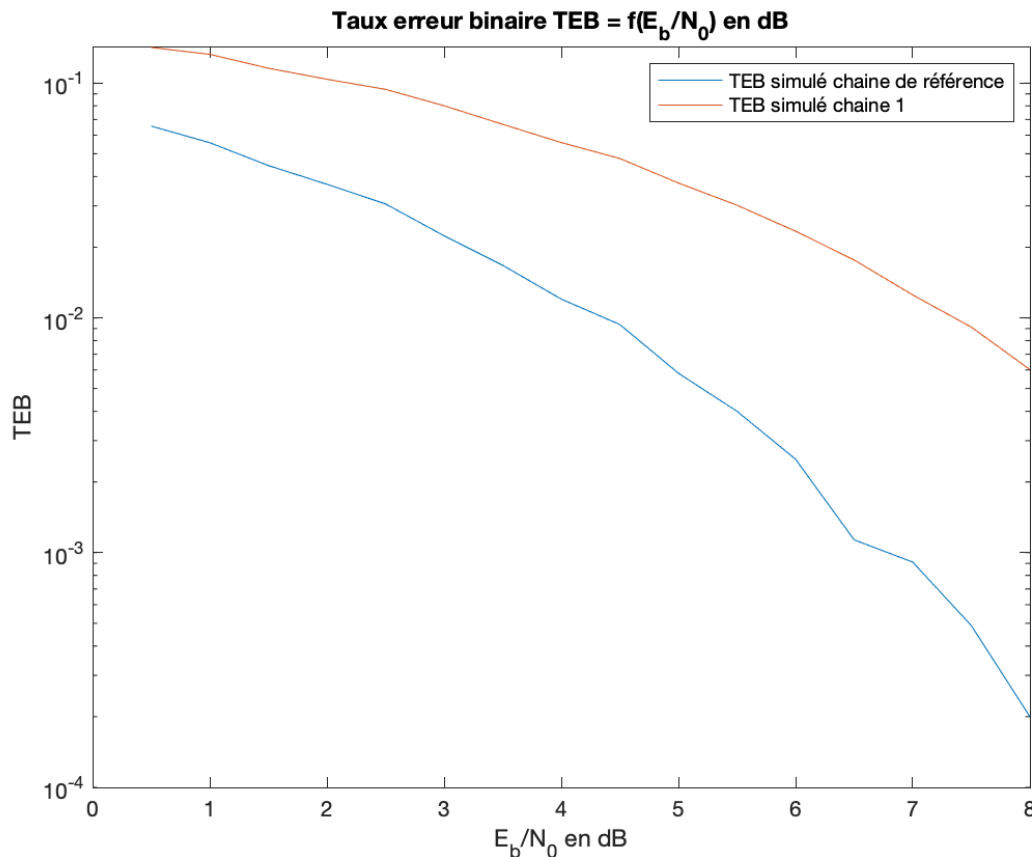
### Implantation de la chaîne avec bruit

1. Donnez les tracés superposés sur une même figure du TEB simulé et du TEB théorique afin de valider le bon fonctionnement de votre chaîne.



**FIGURE 4** – Tracé en log du TEB simulé et théorique de la chaîne de 1

2. Comparez la chaîne de transmission implantée ici à la chaîne de transmission de référence en termes d'efficacité en puissance. La chaîne éventuellement la plus efficace en puissance devra être identifiée, en expliquant ce qui la rend plus efficace si c'est le cas (vous vous appuyerez, pour cela, sur les tracés réalisés durant les TP et les études réalisées en cours et TD).



**FIGURE 5** – Tracé en log du TEB simulé et théorique de la chaîne de 1 et la chaîne de référence

*Efficacité en puissance de la transmission* :  $SNR(E_b/N_0)$  par bit nécessaire à l'entrée du récepteur pour atteindre le TEB souhaité

La chaîne de référence est plus efficace car pour la chaîne 1 le critère de filtrage adapté n'est pas respecté ainsi le SNR aux instants de décision n'est donc pas maximisé et logiquement le TEB pour un  $\frac{E_b}{N_0}$  est grand. Ainsi pour atteindre un TEB donnée il faut une plus grand  $\frac{E_b}{N_0}$  avec la chaîne 1 que la chaîne de référence donc l'efficacité spectrale de la chaîne de référence est plus performante. En l'occurrence les deux chaînes correspondent aux exercice 1 et 2 du TD3.

3. Comparez la chaîne de transmission implantée ici à la chaîne de transmission de référence en termes d'efficacité spectrale. La chaîne éventuellement la plus efficace spectralement devra être identifiée, en expliquant ce qui la rend plus efficace si c'est le cas (vous vous appuyerez, pour cela, sur les tracés réalisés durant les TP et les études réalisées en cours et TD).

*Efficacité spectrale de la transmission* : Bande B nécessaire pour passer le débit  $R_b$  souhaité

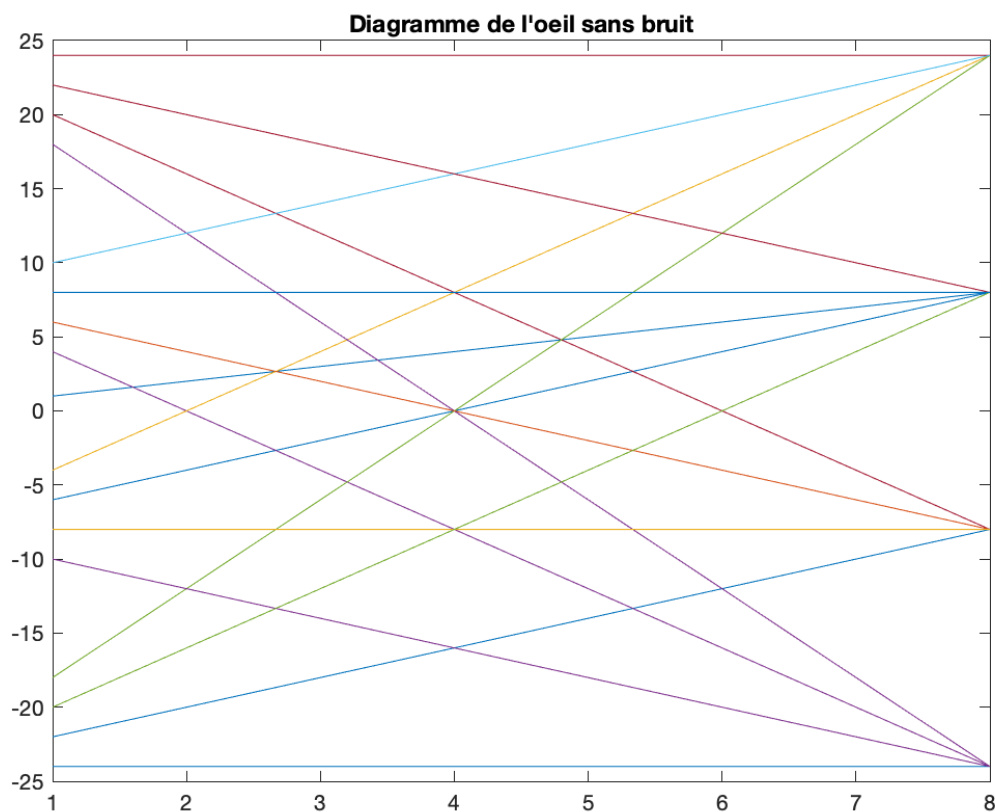


L'efficacité spectrale dépend de  $\frac{\log_2(M)}{k}$  avec  $M$  l'ordre de modulation et  $k$  est fonction du filtre de mise en forme. Ainsi la chaîne de référence et la chaîne 1 ont la même efficacité spectrale car elles ont le même  $M$  et le même filtre de mise en forme.

## Deuxième chaîne à étudier, implanter et comparer à la chaîne de référence

### Implantation de la chaîne sans bruit

1. Utilisez le tracé du diagramme de l'oeil en sortie du filtre de réception sur la durée  $T$  ( $N$  échantillons) pour proposer des instants d'échantillonnage  $t_0 + mT_s$ , en expliquant votre choix.



**FIGURE 6** – Diagramme de l'oeil en sortie du filtre de réception de la chaîne 2

L'instant optimal d'échantillonnage est donc 8 pour ne pas avoir d'interférence entre symboles.

2. Proposez les seuils optimaux à utiliser ici pour la décision en expliquant votre choix.

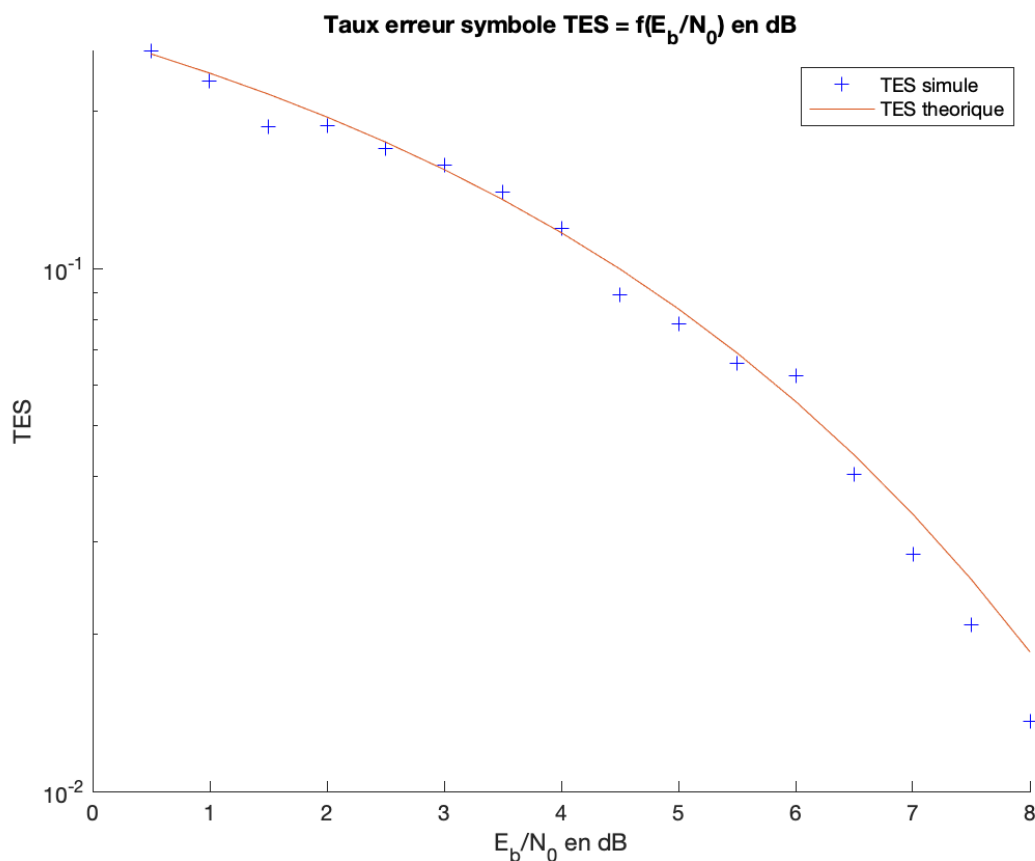
Les seuils optimaux sont  $-16, 0$  et  $+16$  (qui sépare donc  $\mathbb{R}$  en 4).

Car on aura  $z_m = a_m g(t_0)$ , et donc logiquement localisée en  $-3g(t_0), -g(t_0), g(t_0), 3g(t_0)$ .

Avec  $g(t_0) = g(8) = 8$  avec  $g = \text{conv}(h1, hr1)$ . Ainsi le point médiant entre  $\pm 24$  et  $\pm 8$  est  $\pm 16$  et entre  $-8$  et  $+8, 0$ .

### Implantation de la chaîne avec bruit

1. Donnez les tracés superposés sur une même figure du TES simulé et du TES théorique donné dans l'énoncé :  $TES = \frac{3}{2}Q\left(\sqrt{\frac{4}{5}}\frac{E_b}{N_0}\right)$ . La similitude ou différence obtenue entre le TES simulé et le TES théorique donné devra être expliquée.



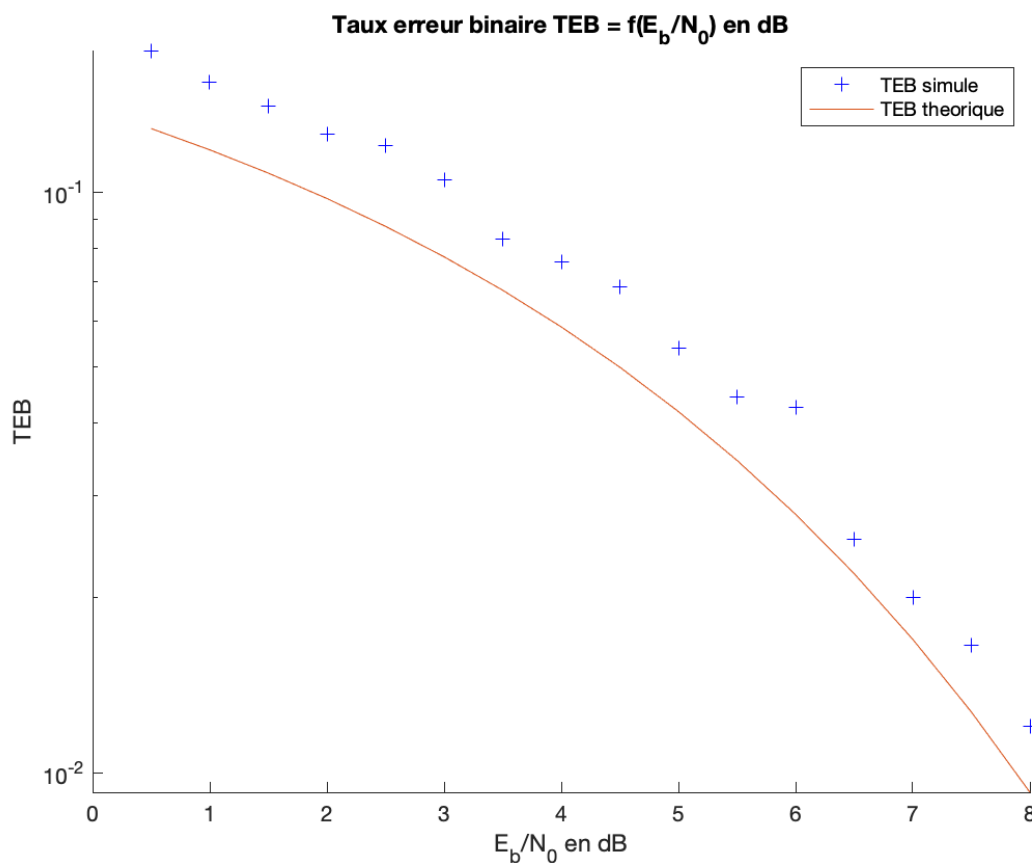
**FIGURE 7** – Tracé en log du TES simulé et théorique de la chaîne de 2

Les deux courbes correspondent bien cependant pour cela on a dû prendre un nombre de bit ( $N$ ) élevé pour rendre l'erreur  $\epsilon^2 = \frac{\sigma_{TEB}^2}{m_{TEB}^2} = \frac{1-p}{Np} \simeq \frac{1}{Np}$  plus faible.

- Donnez les tracés superposés sur une même figure du TEB obtenu par simulation sur la chaîne implantée et du TEB théorique suivant :

$$TEB = \frac{3}{4} Q \left( \sqrt{\frac{4}{5} \frac{E_b}{N_0}} \right)$$

La similitude ou différence obtenue devra être expliquée. La chaîne éventuellement la plus efficace en puissance devra être identifiée, en expliquant ce qui la rend plus efficace si c'est le cas.



**FIGURE 8** – Tracé en log du TEB simulé et théorique de la chaîne de 2

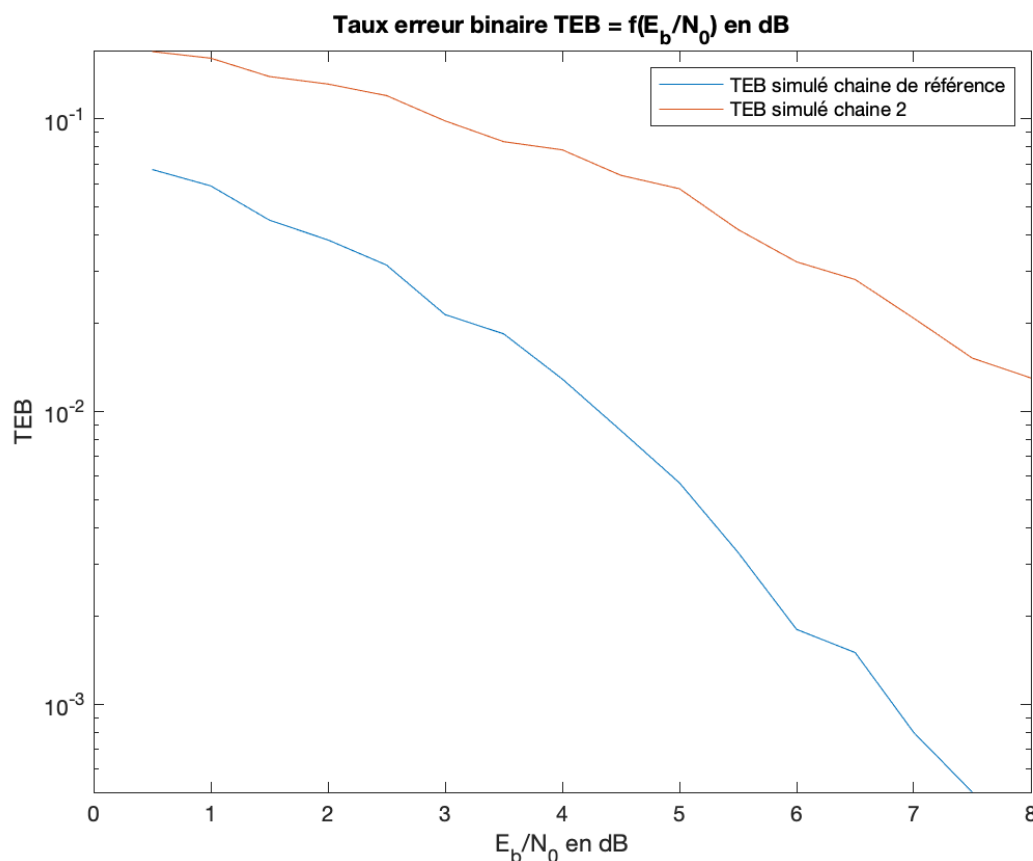
Étrangement les deux courbes ne correspondaient absolument pas, cependant j'ai remarqué que le problème venait du coefficient  $\frac{3}{4}$ .

Cela est sûrement dû au fait que la chaîne 2 ne respecte pas le *mapping de gray*, ainsi le calcul théorique avec le coefficient  $\frac{3}{4}$  n'est plus valide.

3. Comparez la chaîne de transmission simulée ici à la chaîne de référence en termes d'efficacité en puissance en expliquant votre réponse (vous vous appuyerez, pour cela, sur les tracés réalisés durant les TP et les études réalisées en cours et TD).

La chaîne de référence est plus efficace car pour la chaîne 2 le critère de filtrage adapté n'est pas respecté ainsi le SNR aux instants de décision n'est donc pas maximisé et logiquement le TEB pour un  $\frac{E_b}{N_0}$  est grand. Ainsi pour atteindre un TEB donnée il faut une plus grande  $\frac{E_b}{N_0}$  avec la chaîne 2 que la chaîne de référence donc l'efficacité spectrale de la chaîne de référence est plus performante

Cela se retrouve comme pour la chaîne 1 sur le graph  $TEB = f(\frac{E_b}{N_0})$  :



**FIGURE 9** – Tracé en log du TEB simulé et théorique de la chaîne de 2 et la chaîne de référence

4. Comparez la chaîne de transmission simulée ici à la chaîne de référence en termes d'efficacité spectrale en expliquant votre réponse (vous vous appuyerez, pour cela, sur les tracés réalisés

durant les TPs et les études réalisées en cours et TD).

*Efficacité spectrale de la transmission* : Bande B nécessaire pour passer le débit  $R_b$  souhaité

L'efficacité spectrale dépend de  $\frac{\log_2(M)}{k}$  avec  $M$  l'ordre de modulation et  $k$  est fonction du filtre de mise en forme. La chaîne de référence et la chaîne 2 ont le même filtre de mise en forme donc le même  $k$ . Cependant les ordres sont différents,  $M = 4$  pour la chaîne 2 et  $M = 2$  pour la chaîne de référence. Donc la chaîne 2 est plus efficace spectralement.