

19/10/2024

BODIN Noé

COLIN Guillaume

DOUANT Antoine

LE COQ Justine

# **Rapport SIT213**

## **Atelier Logiciel**

### **Simulation d'un système de transmission**

## **Étape 6**

<b>Introduction.....</b>	<b>2</b>
<b>Améliorations.....</b>	<b>3</b>
<b>Environnement 1.....</b>	<b>4</b>
<b>Environnement 2.....</b>	<b>8</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>11</b>

# Introduction

Ce rapport vise à répondre aux exigences d'un client qui souhaite déployer un réseau de capteurs câblés dans deux environnements distincts. Le premier environnement concerne un canal de transmission de type bruit blanc additif gaussien (BBAG), alors que le second implique un canal de propagation à trajets multiples. L'objectif est de garantir des performances en termes de taux d'erreur binaire (TEB) tout en minimisant la consommation énergétique, et de garantir un TEB en fonction d'un débit.

Au cours de cette étape, nous avons également apporté des améliorations à notre simulateur, ce qui a permis de rendre les simulations beaucoup plus rapides et plus efficaces.

Ce rapport détaille les simulations effectuées et les résultats obtenus pour chaque environnement, en tenant compte des améliorations apportées au simulateur.

# Améliorations

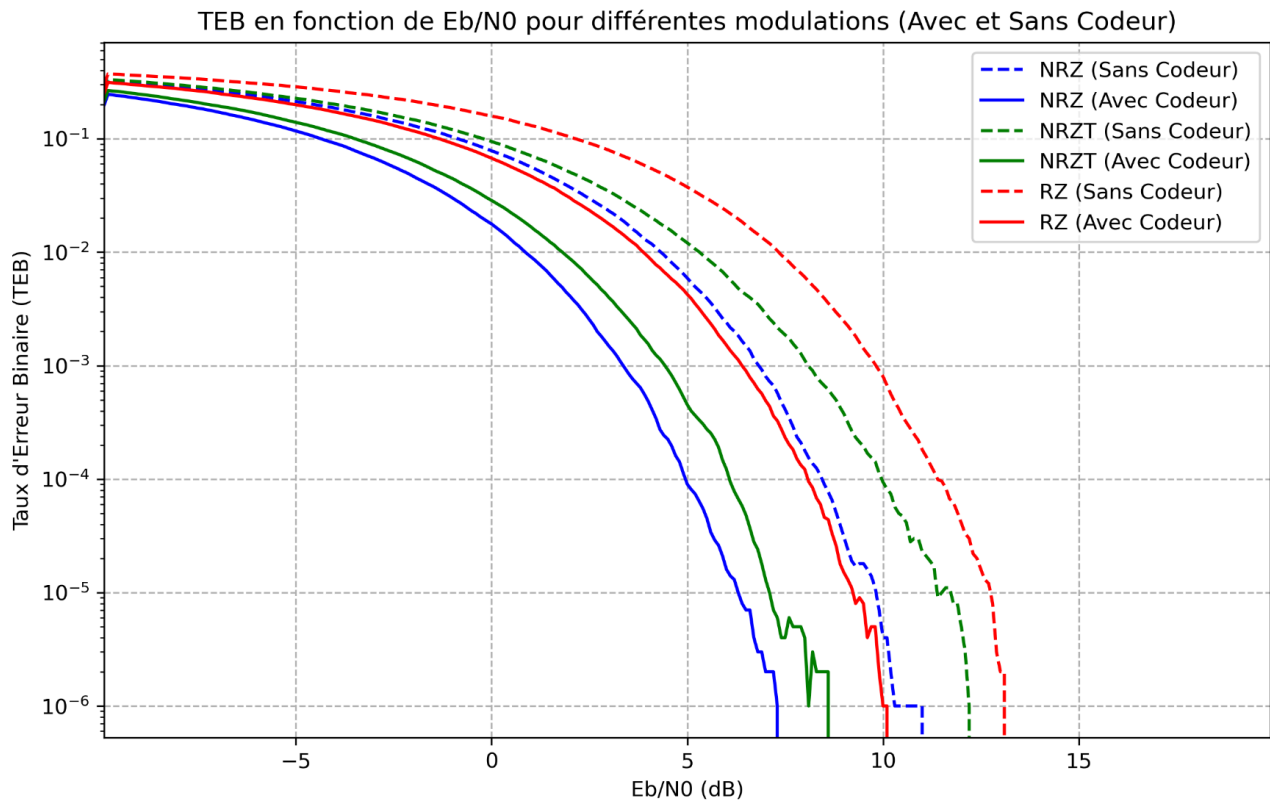
Dans un premier temps, nous avons apporté des améliorations à notre simulateur :

- Optimisation en utilisant les ArrayList à la place des LinkedList (initialement présent dans le code) jusqu'à 50 000 fois plus rapide, une simulation de 7 heures prend maintenant 0,5s. Il aurait fallu utiliser des itérateurs pour être performants avec LinkedList, ce qui aurait provoqué des changements importants.
- Remplacements du type double en Double pour permettre null en valeur de SNR et SNRpb, et vérification du bruit ou non (avant, il était impossible d'avoir 0 dB de bruit)
- Améliorations dans le récepteur, pour NRZ utilisant la méthode que NRZ
- Ajouts de tests du simulateur

Tout cela améliore nos courbes de TEB en fonction de  $E_b/N_0$  et les changent légèrement (surtout pour NRZT).

# Environnement 1

Sur des messages de 200000 bits, d'amplitude -1 et 1, 30 échantillons par bits, nous avons ces courbes de TEB en fonction de  $E_b/N_0$  (de -10 à 20 dB, tous les 0.1 dB) :



Paramètre	Valeur
Type de bruit	Blanc additif gaussien
Bruit $N_0$	-80 dBm/Hz
Atténuation totale $\alpha$	-40 dB
Seuil TEB	$10^{-3}$
Consommation	Minimale
Capacité de la batterie	3 J
Volume de données utiles	$10^6$ bits/jour

**La courbe de TEB en fonction de  $E_b/N_0$  a été refaite après les améliorations citées précédemment, les valeurs changent légèrement, mais les calculs n'ont pas été refaits, il y a donc un léger décalage (moins de 1 dB, NRZ : 6.8 dB au lieu de 7.7 dB).**

### **Choix de la forme d'onde :**

D'après nos courbes, pour un TEB de  $10^{-3}$ , les valeurs de  $E_b/N_0$  requises sont :

- NRZ : 7.7 dB
- RZ : 10 dB
- NRZT : 8.5 dB

NRZ est la forme d'onde la plus économe en énergie, car elle nécessite le moins de puissance pour atteindre le TEB cible. Nous allons donc utiliser les valeurs du codage NRZ pour la suite.

### **Calcul de la puissance d'émission (Pt) :**

Conversion de  $N_0$  en Watts/Hz :

$$N_0 \text{ (dBm/Hz)} = -80 \text{ dBm/Hz}$$

$$N_0 \text{ (W/Hz)} = 10^{(N_0(\text{dBm/Hz})/10)} * 10^{-3} = 10^{-11} \text{ W/Hz}$$

Calcul de  $E_b$  (énergie par bit) :

$$E_b/N_0 \text{ (dB)} = 7.7 \text{ dB (pour NRZ)}$$

$$E_b/N_0 \text{ (linéaire)} = 10^{(E_b/N_0(\text{dB})/10)} = 5.89$$

$$E_b = E_b/N_0 \text{ (linéaire)} * N_0 = 5.89 * 10^{-11} \text{ J/bit}$$

Calcul de la puissance reçue ( $P_r$ ) :

$$P_r = E_b * R_b$$

où  $R_b$  est le débit binaire. Pour maximiser la durée de vie de la batterie, nous voulons minimiser la puissance, donc nous allons choisir le débit minimal qui satisfait les contraintes du client.

Le client transmet  $10^6$  bits/jour, soit environ 11,57 bits/seconde. Nous allons arrondir ce chiffre à 12 bits/seconde pour avoir une marge de sécurité.

$$P_r = 5.89 \cdot 10^{-11} \text{ J/bit} \cdot 12 \text{ bits/s} = 7.07 \cdot 10^{-10} \text{ W}$$

Calcul de la puissance d'émission ( $P_t$ ) :

$P_t$  dépend de l'atténuation  $A$

$$P_t = P_r \cdot 10^{(A/10)} = 7.07 \cdot 10^{-10} \text{ W} \cdot 10^{(40/10)} = 7.07 \cdot 10^{-6} \text{ W} = 7.07 \mu\text{W}$$

### **Calcul de l'autonomie de la batterie :**

Énergie totale de la batterie : 3 J

Consommation quotidienne :

$$P_t \cdot 24 \text{ heures} \cdot 3600 \text{ secondes/heure} = 7.07 \cdot 10^{-6} \text{ W} \cdot 86400 \text{ s} = 0.61 \text{ J/jour}$$

Autonomie de la batterie :

Énergie totale / Consommation quotidienne = 3 J / 0.61 J/jour = 4.9 jours (cela reviendrais à 6 jours avec les nouvelles simulations)

### **Calcul de la nouvelle puissance d'émission ( $P_t$ ) avec codeur :**

Calcul de  $E_b$  (énergie par bit) avec codeur :

$$E_b/N_0 \text{ (dB)} = 4.5 \text{ dB (pour NRZ avec codeur)}$$

$$E_b/N_0 \text{ (linéaire)} = 10^{(E_b/N_0(\text{dB})/10)} = 2.82$$

$$E_b = E_b/N_0 \text{ (linéaire)} \cdot N_0 = 2.82 \cdot 10^{-11} \text{ J/bit}$$

Calcul du débit binaire ( $R_b$ ) avec codeur :

Le codeur transforme 1 bit en 3 bits, donc le débit binaire est multiplié par 3.

$$R_b = 12 \text{ bits/s} \times 3 = 36 \text{ bits/s}$$

Calcul de la puissance reçue ( $P_r$ ) avec codeur :

$$P_r = E_b \times R_b = 2.82 \times 10^{-11} \text{ J/bit} \times 36 \text{ bits/s} = 1.015 \times 10^{-9} \text{ W}$$

Calcul de la puissance d'émission ( $P_t$ ) avec codeur :

$$P_t = P_r \times 10^{(A/10)} = 1.015 \times 10^{-9} \text{ W} \times 10^{(40/10)} = 1.015 \times 10^{-5} \text{ W} = 10.15 \text{ } \mu\text{W}$$

Calcul de l'autonomie de la batterie avec codeur :

$$\text{Consommation quotidienne avec codeur : } P_t \times 24 \text{ heures} \times 3600 \text{ secondes/heure} = 10.15 \times 10^{-6} \text{ W} \times 86400 \text{ s} = 0.88 \text{ J/jour}$$

$$\text{Autonomie de la batterie avec codeur : } \text{Energie totale} / \text{Consommation quotidienne} = 3 \text{ J} / 0.88 \text{ J/jour} = 3.4 \text{ jours}$$

1.

La solution proposée est d'utiliser la forme d'onde NRZ avec un débit binaire de 12 bits/s. La puissance d'émission nécessaire est de 7.07  $\mu\text{W}$ .

2.

Avec cette solution, la batterie tiendra environ 4.9 jours avant d'être déchargée.

3.

Non, la batterie ne tiendra pas plus longtemps pour le même TEB cible avec le code correcteur d'erreurs. La consommation énergétique est plus élevée avec le codeur, ce qui diminue l'autonomie de la batterie.



## Environnement 2

**De même que pour l'environnement précédent, les améliorations du code ne sont pas prises en compte dans les calculs...**

Paramètre	Valeur
Type	Multi Trajet
Seuil TEB	$10^{-2}$
Nombre de trajet	2
Durée entre les trajets	10 microseconde
Amplitude trajet 1	1
Amplitude trajet 2	0,5
Seuil Eb/N0	< 15dB

On sait que :

$$D = F_e/N$$

$$F_e = 1/T_{\text{symbole}}$$

Avec  $F_e$  fréquence d'échantillonnage,  $N$  le nombre d'échantillons par bits et  $T_{\text{symbole}}$  la durée d'un bit (symbole).

On considère ici  $F_e = 10$  MHz on pourrait choisir n'importe quelle valeur de  $F_e$ , celle-ci est la plus adaptée a nos simulations, car elle ne nécessite pas un grand nombre d'échantillons par bits pour simuler les débits.

On fait varier le nombre d'échantillons par bits ce qui fait varier le débit, plus  $N$  est faible plus le débit est grand. On prend  $E_b/N_0 = 15$  dB.

Nous simulons donc avec les paramètres suivants, ceux non spécifiés prennent les valeurs par défaut.

-mess 2000

-form : NRZ et NRZT (car plus performants)

-snrpb : 15

-nbEch : varie en fonction du débit ->  $\text{nbEch} = \text{Fe}/D$

-ti : nombre d'échantillons varie en fonction de Fe ->  $\text{delta}_t * \text{Fe} = 10\mu\text{s} * 10\text{MHZ}$ , ici 100 0.5

En moyenne, nous retrouvons ces valeurs de TEB :

Les simulations sont faites à partir de la classe SimulateurNbEch. Voici les résultats intéressants de 5 à 380 tous les 15 échantillons :

NbEch	Débit bit/s	TEB NRZT	TEB NRZ
5	2000000	0.1255	0.129
20	500000	0.1245	0.1285
35	285714,2857	0.121	0.0975
50	200000	0.132	0.1255
65	153846,1538	0.09	0.07
80	125000	0.1115	0.0865
95	105263,1579	0.1215	0.105
110	90909,09091	0.12	0.078
125	80000	0.1015	0.0495
140	71428,57143	0.0845	0.0315
155	64516,12903	0.0685	0.0185
170	58823,52941	0.0445	0.0125
185	54054,05405	0.033	0.008
200	50000	0.034	0.007
215	46511,62791	0.0315	0.002
230	43478,26087	0.0205	0.0035
245	40816,32653	0.0175	0.0025
260	38461,53846	0.02	5.0E-4
275	36363,63636	0.0165	0.0025
290	34482,75862	0.013	0.002
305	32786,88525	0.014	0.0
320	31250	0.011	5.0E-4
335	29850,74627	0.012	5.0E-4
350	28571,42857	0.01	0.001
365	27397,26027	0.0065	0.001
380	26315,78947	0.0075	5.0E-4

Nous devons obtenir un  $TEB < 10^{-2}$

On utilise donc un nbEch autour de 185 en NRZ

Soit un débit de 54kbit/s

Pour un  $TEB < 10^{-3}$  avec le même débit, on utilise un codeur pour améliorer les performances, toujours en NRZ.

Cette fois, le débit utilisé :  $D = F_e/N/3$ . Car 3 bits réels pour représenter un bit utile.

Donc  $N = F_e/3*D \rightarrow 10000000/3*54000 \approx 62$

On lance donc une simulation avec un nbEch de 62 et le paramètre codeur d'activé.  
Avec 1000 bits

On obtient un  $TEB =$  variant entre  $1.0E-4$  et  $5.0E-4$ , donc bien inférieur à  $10^{-3}$

Sur 10000 bits, 0.0022 en NRZT et 0.0 en NRZ :

```
~/sit213 main !1 ?2 > ./simulateur -mess 10000 -form NRZ -snrpb 15 -ti 100 0.5 -codeur -nbEch 62  
java Simulateur -mess 10000 -form NRZ -snrpb 15 -ti 100 0.5 -codeur -nbEch 62 => TEB : 0.0
```

```
~/sit213 main !1 ?2 > ./simulateur -mess 10000 -form NRZT -snrpb 15 -ti 100 0.5 -codeur -nbEch 62  
java Simulateur -mess 10000 -form NRZT -snrpb 15 -ti 100 0.5 -codeur -nbEch 62 => TEB : 0.0022
```

4.

Nous disposons des résultats de simulations qui montrent les TEB en fonction du nombre d'échantillons par bit (NbEch) pour des formes d'onde NRZ et NRZT.

Selon ces résultats, pour un  $TEB < 10^{-2}$ , en NRZ, il faut utiliser environ 185 échantillons par bit, ce qui correspond à un débit de 54 kbit/s, pour  $F_e = 10\text{MHz}$ .

5.

Pour un  $TEB < 10^{-3}$  avec un débit identique, l'utilisation d'un codeur est nécessaire.

D'après les résultats, on voit que pour atteindre un  $TEB < 10^{-3}$ , un codeur doit être utilisé en NRZ. Le débit effectif est réduit par un facteur de 3 car le codeur représente 1 bit utile par 3 bits transmis.

Avec un débit de 54 kbit/s et un codeur activé, le nombre d'échantillons par bit est ajusté à 62, et le TEB obtenu varie entre 0.0 et  $5.0E-4$ , ce qui est bien inférieur au seuil de  $10^{-3}$ .

## Conclusion

En conclusion, les simulations effectuées ont permis de répondre aux exigences du client dans les deux environnements.

Dans l'environnement 1, où la minimisation de la consommation d'énergie était importante, la forme d'onde NRZ a été identifiée comme la solution la plus économe, permettant d'atteindre un TEB inférieur à  $10^{-3}$  avec une puissance d'émission de  $7,07 \mu W$  et une autonomie de la batterie de 4,9 jours. L'utilisation d'un codeur correcteur d'erreurs a amélioré le TEB, mais cela conduit à une consommation d'énergie plus élevée, réduisant ainsi l'autonomie à 3,4 jours.

Dans l'environnement 2, pour un canal à trajets multiples, nous avons montré qu'un débit maximal de 54 kbit/s peut être atteint en utilisant la modulation NRZ avec un TEB inférieur à  $10^{-2}$ . L'ajout d'un codeur permet d'atteindre un TEB inférieur à  $10^{-3}$  avec un même débit, répondant ainsi aux exigences de fiabilité du client.