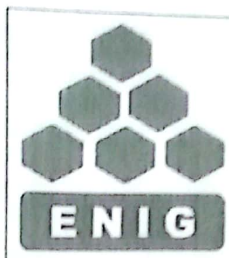
	République Tunisienne Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique Université de Gabès Ecole Nationale d'Ingénieurs de Gabès	Réf : DE-EX-01 Indice : 3 Date : 02/12/2019 Page : 1/3
	<b>EPREUVE D'EVALUATION</b>	
	Année Universitaire : 2023/2024	Date de l'Examen : 09/01/2024
	Nature : <input type="checkbox"/> DC <input checked="" type="checkbox"/> Examen <input type="checkbox"/> DR	Durée : <input type="checkbox"/> 1h <input type="checkbox"/> 1h30min <input checked="" type="checkbox"/> 2h
Diplôme : <input type="checkbox"/> Mastère <input checked="" type="checkbox"/> Ingénieur	Nombre de pages : 03	
Section : <input type="checkbox"/> GCP <input type="checkbox"/> GCV <input type="checkbox"/> GEA <input checked="" type="checkbox"/> GCR <input type="checkbox"/> GM	Enseignant : M. Abdelhakim KHLIFI	
Niveau d'étude : <input type="checkbox"/> 1 <sup>ère</sup> <input checked="" type="checkbox"/> 2 <sup>ème</sup> <input type="checkbox"/> 3 <sup>ème</sup> année	Documents Autorisés : <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non	
Matière : Communications numériques	Remarque : Calculatrice autorisée	

### Exercice 1 (11.5 points)

On note  $\{a_k\}_{k=0.1\dots,N-1}$  la suite binaire à transmettre avec un débit binaire  $D_1$ . On désire étudier la performance d'un signal NRZ unipolaire. Ce signal est transmis à travers un canal BBAG. La DSP du bruit vaut  $6.825 \times 10^{-13} W$ . La source est considérée non équiprobable et  $p_0 = \frac{1}{4}$ . Le rapport signal sur bruit à la sortie du filtre de réception vaut  $9.44 dB$ . La bande passante du système  $B = 5.6 MHz$  et le facteur roll-off  $\alpha = 0.4$

### Partie A (7.5 points)

1. Quelles sont les critères à atteindre lors de la conception d'une chaîne de transmission numérique ?
2. Donnez avec démonstration, l'expression de la DSP du code NRZ unipolaire (cas équiprobable).
3. Dans un tableau, comparez les trois codes en ligne NRZ unipolaire, RZ-1/2, Manchester.
4. Schématiser la chaîne de transmission numérique complète et donner la fonction de chaque bloc.
5. Ecrire l'expression du signal reçu  $y(t)$  à la sortie du filtre de réception.
6. Donnez, avec démonstration, l'expression de la probabilité d'erreur  $P_e$  en fonction de  $A, \sigma, p_0, p_1$  et  $\lambda$  le seuil de détection.



7. Donnez, avec démonstration, l'expression de seuil de décision optimal  $\lambda_{opt}$  qui minimise la probabilité d'erreur.
8. Calculer dans ce cas la probabilité d'erreur  $P_e$ .
9. Proposez des solutions pour améliorer la performance du système.
10. Montrez que le critère de Nyquist idéal est  $R_{max} = 2B$ .
11. Pourquoi le filtre de Nyquist est non réalisable dans la pratique ?
12. A quoi sert le diagramme de l'œil ? Que signifie un œil ouvert ou fermé ? De quels paramètres dépend le diagramme de l'œil ?
13. Tracez le diagramme de l'œil, sur une période de  $2T$ , pour les deux cas suivants : canal idéal et canal à bande limitée.
14. Tracez le filtre adapté sur une période  $T$ .

**Partie B: Modulation M-QAM (4 points)**

On considère maintenant que les signaux sont modulés en M-QAM et transmis à travers un canal. Dans cette partie, on suppose que les symboles sont équiprobables. Le nouveau débit désiré est  $D_2 = 28.8 \text{ Mbit/s}$ .

1. Déterminer la relation entre la rapidité de modulation et le débit binaire
2. En déduire la valeur de la valence  $M$ .
3. En déduire l'expression de la modulation M-QAM à partir de celle de la modulation ASK.
4. Tracez la constellation QAM-M.
5. Calculer la valeur de la probabilité moyenne du symbole  $P_s$ .
6. En déduire la probabilité d'erreur binaire  $P_b$ .



**Exercice 2 : Egalisation du canal (8.5 points)**

1. Montrez qu'un système de communication numérique peut être modélisé par l'équation suivante :

$$C(z) = F(z)C(z) + U(z)$$

2. Donnez la signification de chaque terme ?
3. Quel est le rôle de l'égaliseur du canal ?
4. Expliquez pourquoi l'opération de l'égalisation est précédée par une étape appelée « estimation du canal ».
5. Citez deux méthodes d'estimation du canal. Donnez l'avantage et l'inconvénient de chaque méthode.
6. Donnez alors le schéma complet d'une chaîne de transmission numérique en présence de l'estimateur du canal.
7. Quelle est la différence entre un égaliseur ZF et un égaliseur MMSE ?
8. Maintenant, on suppose que le canal est parfaitement connu. On suppose la fonction de transfert  $F(z) = 1 + 0.7z^{-1} + 0.6z^{-2}$ . Le bruit blanc gaussien a une densité de spectre de puissance 0.3. Les données  $c_k \in \{-2; 2\}$  appliquées à l'entrée du canal ne sont pas corrélées. Un égaliseur ZF de longueur  $N = 3$  est utilisé.
  - a. Rappelez comment les coefficients du filtre ZF sont obtenus ?
  - b. Calculer le rapport  $SINR$  à la sortie de l'égaliseur et sans égalisation. Conclure.

Bonne chance ☺

## Annexe

$$\operatorname{erfc}(x) = 2 \cdot Q(\sqrt{2}x)$$

$$\operatorname{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{+\infty} e^{-z^2} dz$$

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_x^{+\infty} e^{-\frac{(y-m)^2}{2\sigma^2}} dy$$

$$\frac{d(\operatorname{erfc}(u))}{du} = \frac{-2}{\sqrt{\pi}} e^{-u^2} \cdot u'$$

$$\sigma^2 = \frac{N_0}{2T_b}$$

- DSP d'un code en ligne sans mémoire :

$$\gamma_x(f) = \frac{\sigma_a^2}{T} + \frac{m_a^2}{T^2} \sum_k \delta\left(f - \frac{k}{T}\right)$$

- Probabilité d'erreur moyenne du symbole (M-ASK) :

$$P_s = \frac{(M-1)}{M} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{3}{M^2-1} \cdot \frac{E_s}{N_0}}\right)$$