

SUJET

Option A – Informatique et Réseaux

Partie 2 - Sciences Physiques

Durée 2 h - Coefficient 2

Le sujet est composé de 3 parties indépendantes :

- Partie A : numérisation de la température.
- Partie B : détection d'un pic de température par filtrage.
- Partie C : performances comparées de deux modulations 4G-LTE.

Présentation

Le poste de gestion des services techniques de la mairie communique avec les panneaux d'affichage de la commune en passant par un réseau de téléphonie mobile de 4^{ème} génération, de type 4G-LTE (figure 1). Ces liaisons permettent de commander l'affichage depuis le poste de gestion (flux descendant), mais aussi de sauvegarder dans une base de données, des informations locales comme la température (flux montant).

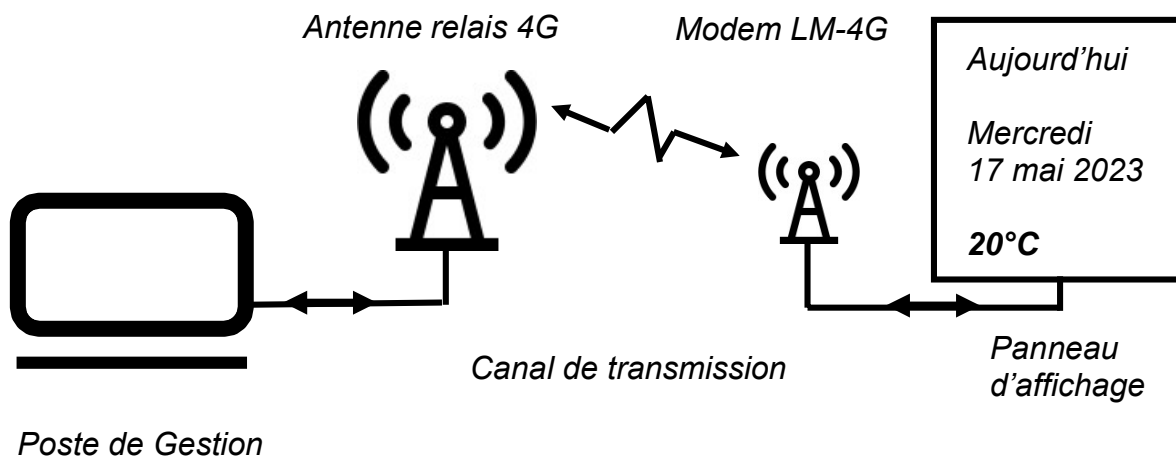
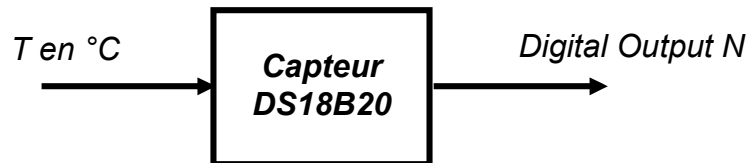


Figure 1 – Gestion à distance d'un panneau d'affichage

SESSION 2023	BTS Systèmes Numériques Option A Informatique et Réseaux Épreuve E4	Page S-SP2 sur 11
23SN4SNIR1	Sciences Physiques - Sujet	

Partie A. Numérisation de la température

Un capteur numérique de température, de référence DS18B20, est placé dans un panneau d'affichage afin d'anticiper une défaillance du modem LM-4G, due à une température trop élevée. Le DS18B20 est un capteur linéaire qui fonctionne entre -55 °C et $+125\text{ °C}$.



Le format du nombre entier N délivré par le capteur est réglé par l'utilisateur sur 12 bits.

L'objectif de cette partie est de déterminer le mot binaire correspondant à une valeur de la température non présente dans la documentation technique.

Le tableau de la figure 2 est un extrait de la documentation technique du DS18B20.

Température (°C)	Digital output N (Binary)		
	D ₁₁	...	D ₁ D ₀
+125	0 1 1 1	1 1 0 1	0 0 0 0
+85	0 1 0 1	0 1 0 1	0 0 0 0
+25,0625	0 0 0 1	1 0 0 1	0 0 0 1
+10,125	0 0 0 0	1 0 1 0	0 0 1 0
+0,5	0 0 0 0	0 0 0 0	1 0 0 0
0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0
-0,5	1 1 1 1	1 1 1 1	1 0 0 0
-10,125	1 1 1 1	0 1 0 1	1 1 1 0
-25,0625	1 1 1 0	0 1 1 0	1 1 1 1
-55	1 1 0 0	1 0 0 1	0 0 0 0

Figure 2 - Température pour un format de N codé sur 12 bits

Q25. Identifier, justification à l'appui, le bit du nombre N qui permet de distinguer une température positive d'une température négative.

SESSION 2023	BTS Systèmes Numériques Option A Informatique et Réseaux Épreuve E4	Page S-SP3 sur 11
23SN4SNIR1	Sciences Physiques - Sujet	

Dans la suite, pour simplifier l'étude, seules les températures positives seront considérées.

Q26. Vérifier que l'écriture en binaire sur 12 bits indiquée figure 2 pour une température de 0,5 °C est cohérente avec le quantum de 0,0625 °C annoncé dans la documentation technique, le bit D_0 étant celui de poids le plus faible.

Q27. Déterminer l'écriture en binaire sur 12 bits pour une température de +55 °C.

SESSION 2023	BTS Systèmes Numériques Option A Informatique et Réseaux Épreuve E4	Page S-SP4 sur 11
23SN4SNIR1	Sciences Physiques - Sujet	

Partie B. Détection d'un pic de température par filtrage

Le capteur considéré dans la partie A mesure la température dans un panneau d'affichage. Le modem LM-4G envoie la valeur de température mesurée au poste de gestion qui stocke ces valeurs dans une base de données.

L'objectif de cette partie est d'étudier le traitement numérique qui permet de détecter une variation « anormale » de température supérieure à 4 °C pour deux mesures effectuées avec un écart de 24 h.

La valeur de la température du panneau d'affichage est transmise toutes les 4 heures. La figure 3 donne un extrait d'évolution de la température sur les 7 jours d'une même semaine.

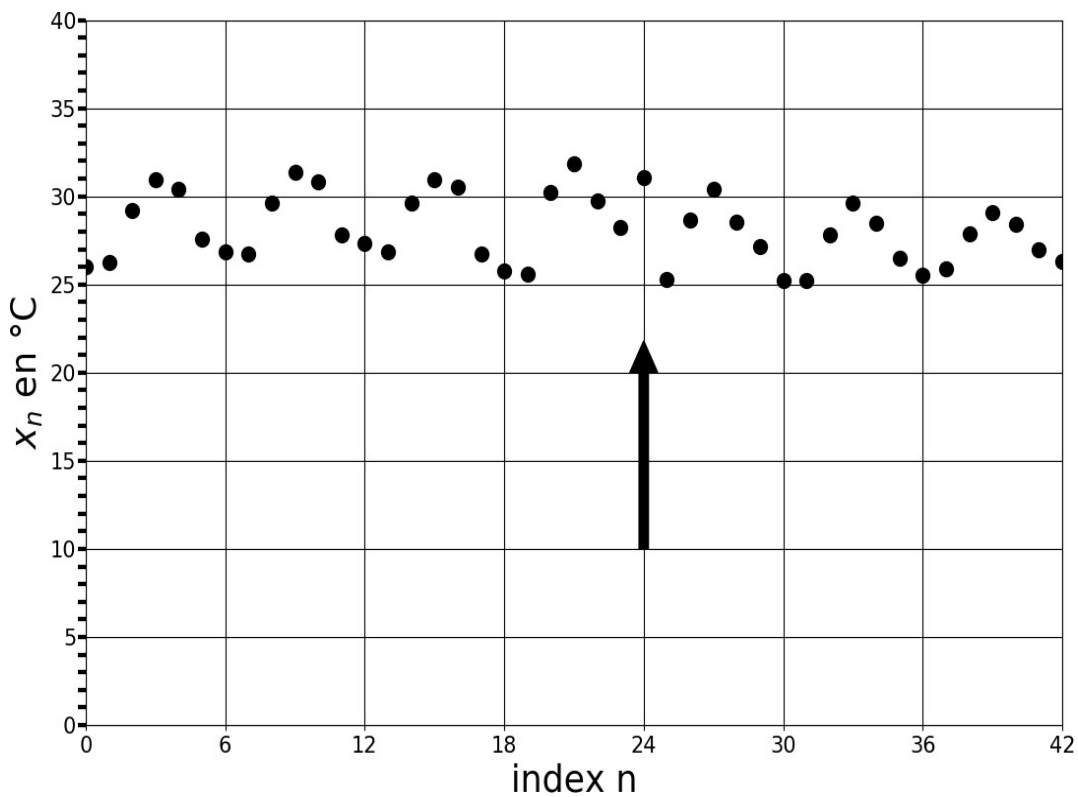


Figure 3 – Relevé de température sur une semaine

Q28. Indiquer le nombre de points de mesure transmis par jour.

À l'index n égal à 24, le technicien constate une anomalie de température, repérée par une flèche sur la figure 3. L'utilisation d'un comparateur à seuil serait inefficace pour détecter cette augmentation ponctuelle de température.

SESSION 2023	BTS Systèmes Numériques Option A Informatique et Réseaux Épreuve E4	Page S-SP5 sur 11
23SN4SNIR1	Sciences Physiques - Sujet	

Dans le but de détecter cette anomalie, un filtre numérique est mis en œuvre afin d'éliminer la composante périodique due aux variations journalières de la température.



Ce filtre est défini par l'équation de récurrence (R) suivante :

$$\text{Pour tout } n, y_n = x_n - x_{n-6} \quad (R)$$

Pour les deux questions suivantes, le signal à l'entrée du filtre est une impulsion unité définie par :

$$\begin{aligned} \text{Pour tout } n \neq 0 & \quad x_n = 0. \\ \text{Pour } n = 0 & \quad x_0 = 1. \end{aligned}$$

Q29. Compléter la dernière ligne tableau du document réponse **DR-SP1** en déterminant la valeur des 10 premiers échantillons de la réponse impulsionnelle du filtre $\{y_n\}$ à cette excitation $\{x_n\}$.

Q30. Préciser, en justifiant votre réponse, si le filtre est à réponse impulsionnelle finie (RIF) ou à réponse impulsionnelle infinie (RII).

Maintenant, le signal $\{x_n\}$ appliqué à l'entrée du filtre peut s'écrire comme la somme d'une composante périodique $\{p_n\}$ de période 6 et une composante non-périodique $\{r_n\}$:

$$\text{Pour tout } n, x_n = p_n + r_n.$$

La composante périodique $\{p_n\}$ de période 6 vérifie la propriété suivante :

$$\text{Pour tout } n, p_n = p_{n-6}.$$

Q31. Démontrer que le signal en sortie de filtre a pour expression :

$$\text{Pour tout } n, y_n = r_n - r_{n-6}.$$

Q32. Indiquer alors quel est l'effet du filtre sur la composante périodique de période 6.

La transformée en z du signal $\{x_n\}$ appliqué à l'entrée du filtre est notée $X(z)$.

La transformée en z du signal $\{y_n\}$ appliqué à l'entrée du filtre est notée $Y(z)$.

Q33. Déterminer, à partir de l'équation de récurrence (R) reliant $\{y_n\}$ et $\{x_n\}$, l'expression de la transmittance en z du filtre : $H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)}$.

SESSION 2023	BTS Systèmes Numériques Option A Informatique et Réseaux Épreuve E4	Page S-SP6 sur 11
23SN4SNIR1	Sciences Physiques - Sujet	

À partir de la transmittance $H(z)$, on déduit le module de la transmittance qui a pour expression :

$$\left| H\left(j \frac{F}{F_e}\right) \right| = 2 \left| \sin\left(2\pi \cdot 3 \frac{F}{F_e}\right) \right| \quad \text{où } F/F_e \text{ est la fréquence réduite}$$

La figure 4 donne l'allure du module $|H(j F/F_e)|$ en fonction de la fréquence réduite F/F_e .

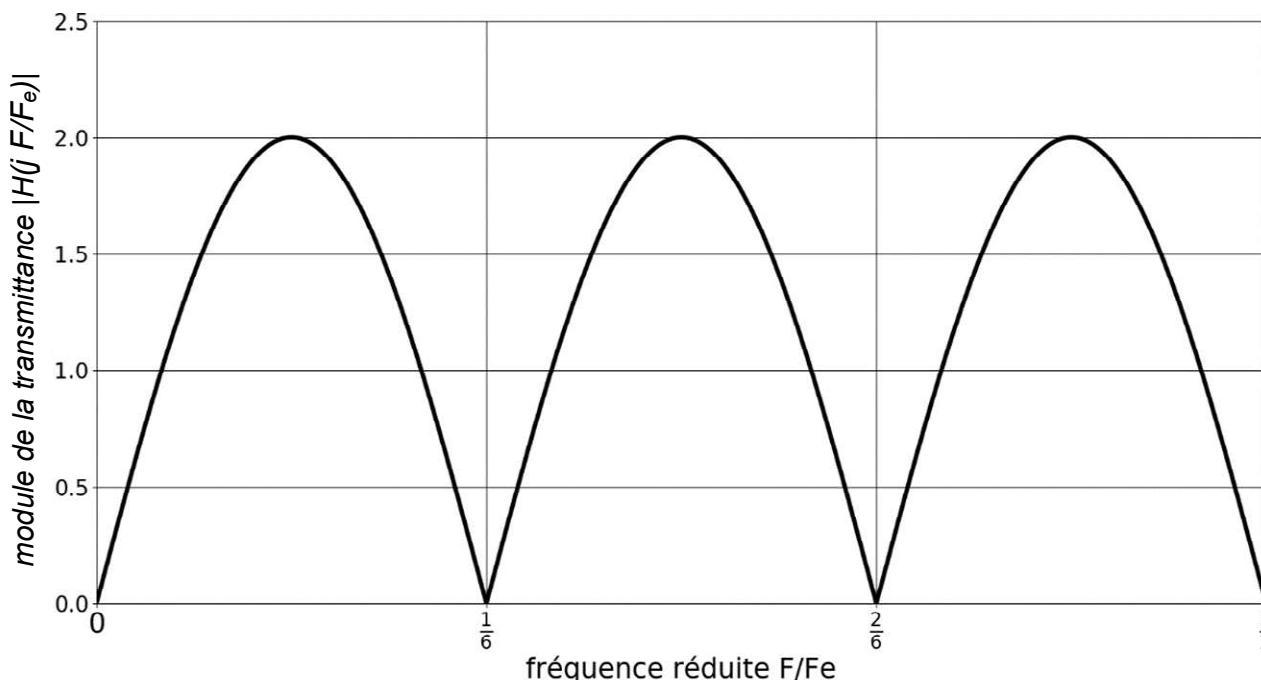


Figure 4 – Diagramme d'amplification du Filtre

Q34. Préciser, en justifiant votre réponse à partir de la figure 4, si la valeur moyenne du signal $\{x_n\}$, est restituée à la sortie du filtre.

Q35. Indiquer le(s) élément(s) de la figure 4 permettant d'affirmer que le filtre élimine toute composante périodique de période 6 qui serait présente sur le signal d'entrée $\{x_n\}$.

SESSION 2023	BTS Systèmes Numériques Option A Informatique et Réseaux Épreuve E4	Page S-SP7sur 11
23SN4SNIR1	Sciences Physiques - Sujet	

Le signal $\{x_n\}$ donné à la figure 3 est appliqué à l'entrée du filtre. Le signal en sortie de filtre $\{y_n\}$ est représenté sur la figure 5.

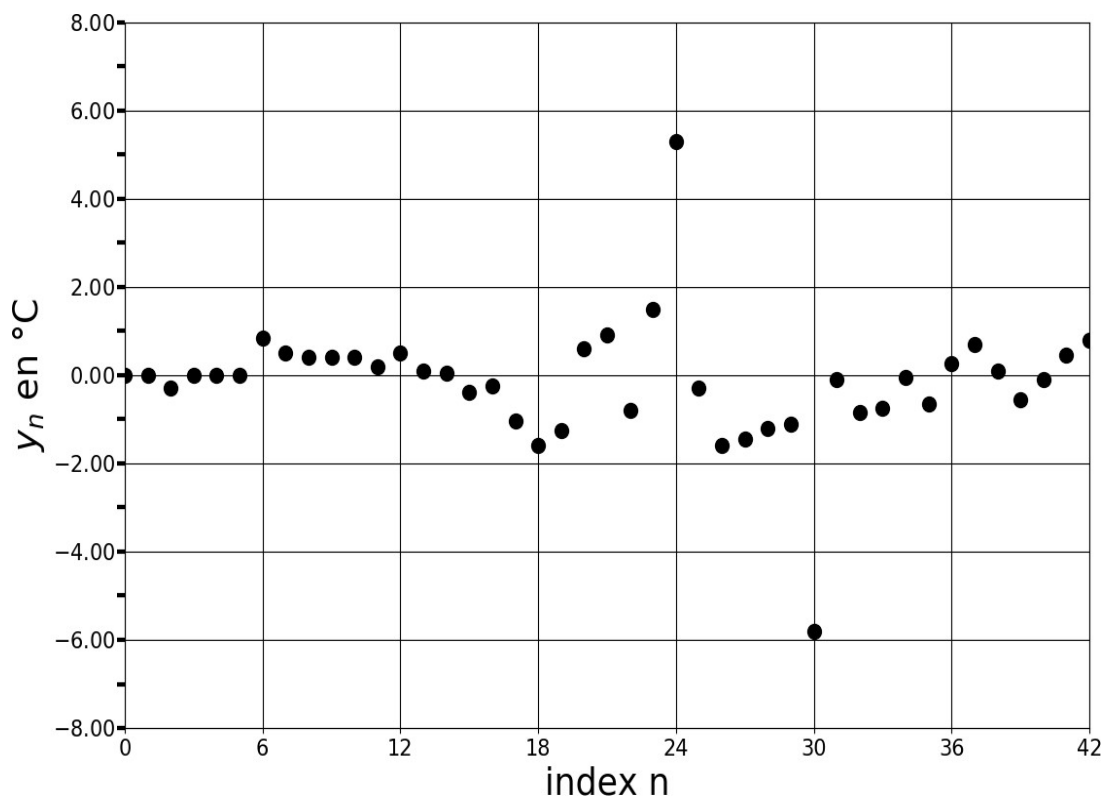


Figure 5 – Signal $\{y_n\}$ en sortie de filtre

Q36. Indiquer comment utiliser le signal $\{y_n\}$ de la figure 5 pour lancer une alerte de variation anormale de température.

SESSION 2023	BTS Systèmes Numériques Option A Informatique et Réseaux Épreuve E4	Page S-SP 8sur 11
23SN4SNIR1	Sciences Physiques - Sujet	

Partie C. Performances comparées de deux modulations 4G

La norme 4G-LTE prévoit d'utiliser plusieurs types de modulation pour transmettre des données. Afin de simplifier, l'étude se limitera dans ce sujet à deux modulations : la QPSK et la 16-QAM. La fréquence porteuse et la puissance d'émission ont la même valeur pour ces deux modulations.

L'objectif de cette partie est de choisir une modulation qui permet d'avoir un taux d'erreur binaire inférieur à 10^{-4} pour un rapport signal sur bruit SNR_{dB} de 10 dB.

Dans un premier temps, le modulateur QPSK est étudié.

Le signal $e(t)$ émis par le modulateur QPSK lors de l'émission du $k^{\text{ème}}$ état a pour expression :

$$e(t) = E_{\max} \cos(2 \cdot \pi \cdot F_p \cdot t + \varphi_k)$$

La valeur de la phase φ_k dépend de l'état des bits émis.

La porteuse non modulée $u(t)$, qui sert de référence de phase, a pour expression :

$$u(t) = U_{\max} \cos(2 \cdot \pi \cdot F_p \cdot t)$$

Les 4 états de la modulation QPSK sont donnés sur le diagramme de constellation, figure 6.

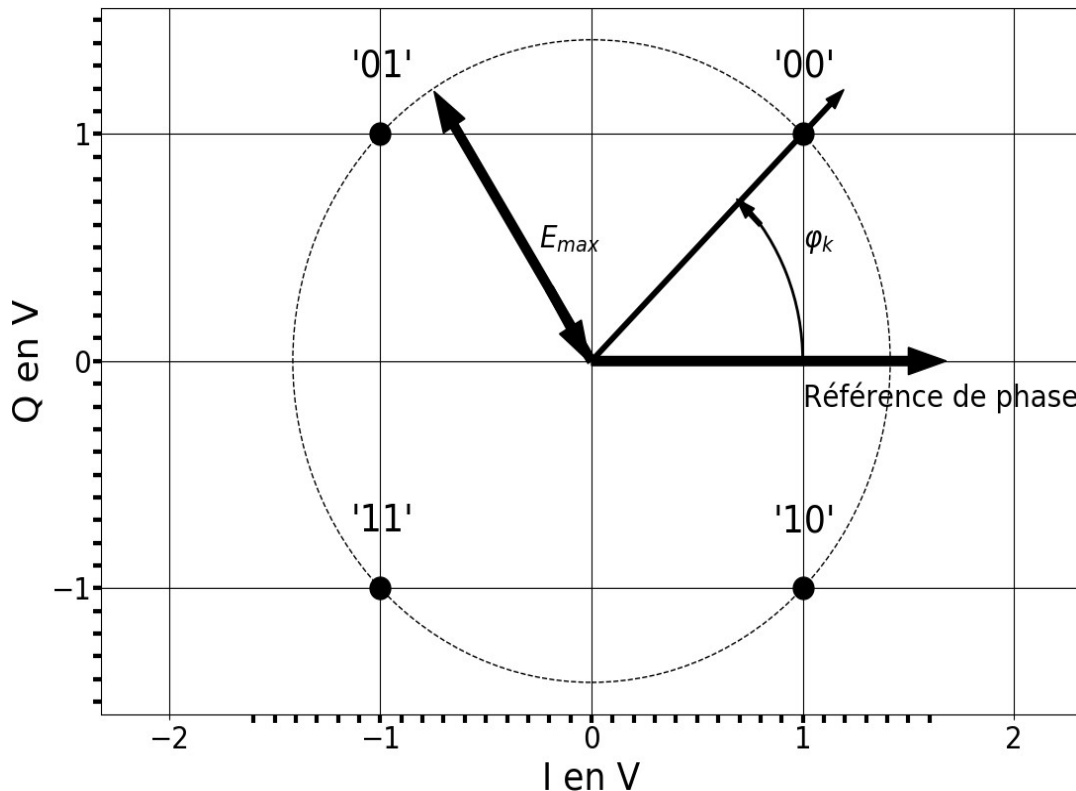


Figure 6 – Constellation QPSK

SESSION 2023	BTS Systèmes Numériques Option A Informatique et Réseaux Épreuve E4	Page S-SP 9sur 11
23SN4SNIR1	Sciences Physiques - Sujet	

Un chronogramme du signal $e(t)$ modulé QPSK est donné en trait plein sur la figure 7. Il correspond à l'émission de l'état '00' pour $t < 0$ et d'un état indéterminé pour $t > 0$.

Le chronogramme de la porteuse non modulée $u(t)$ est tracé en pointillés sur la figure 7.

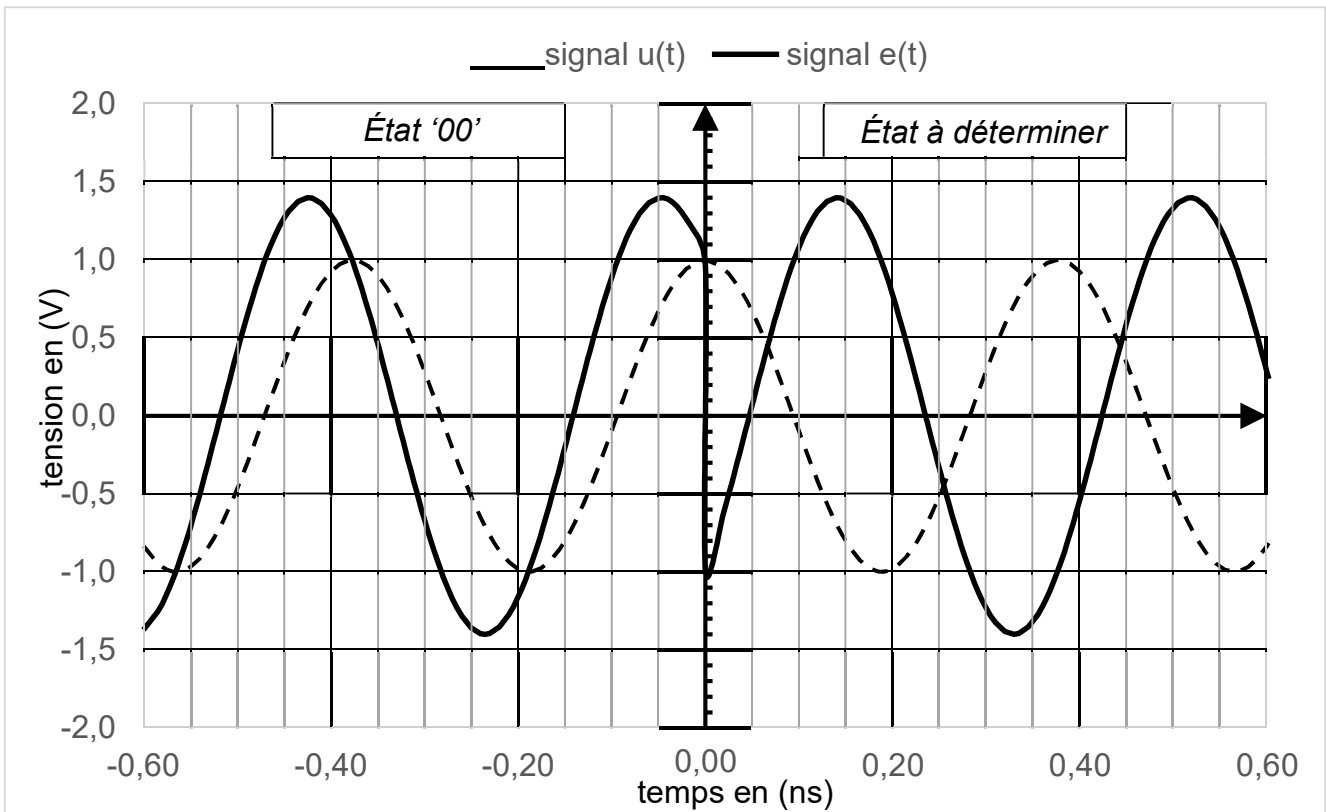


Figure 7 – Chronogramme d'un signal modulé QPSK

Q37. Déterminer la valeur de la fréquence de la porteuse, notée F_p .

Q38. Déterminer la valeur efficace du signal $e(t)$, notée E , en supposant que ce signal est sinusoïdal.

La tension $e(t)$ est appliquée aux bornes d'une résistance R .

Q39. Exprimer la puissance moyenne, notée P_{QPSK} , dissipée par $e(t)$ dans la résistance R , en fonction de E et R .

L'état '00' a été émis pour $t < 0$. On cherche à déterminer l'état émis pour $t > 0$ de la figure 7.

Q40. Décrire la méthode utilisée pour mesurer le déphasage, noté φ , du signal de $e(t)$ par rapport à la porteuse $u(t)$ pour $t > 0$ à partir du contenu de la figure 7.

Pour la suite du problème, on considère que le déphasage de $e(t)$ par rapport à $u(t)$ est de -135° .

Q41. Identifier alors l'état émis pour $t > 0$, à l'aide de la figure 6.

SESSION 2023	BTS Systèmes Numériques Option A Informatique et Réseaux Épreuve E4	Page S-SP 10sur 11
23SN4SNIR1	Sciences Physiques - Sujet	

L'étude porte maintenant sur le modulateur qui émet en 16-QAM. Les 16 états de cette modulation sont donnés sur le diagramme de constellation en figure 8. La valeur du paramètre A , qui s'exprime en volts, sera déterminée ultérieurement.

En modulation 16-QAM, le signal $e(t)$ est modulé en phase et en amplitude. Son expression analytique, lors de l'émission du $k^{\text{ème}}$ état, est de la forme :

$$e(t) = E_k \cos(2 \cdot \pi \cdot F_p \cdot t + \varphi_k)$$

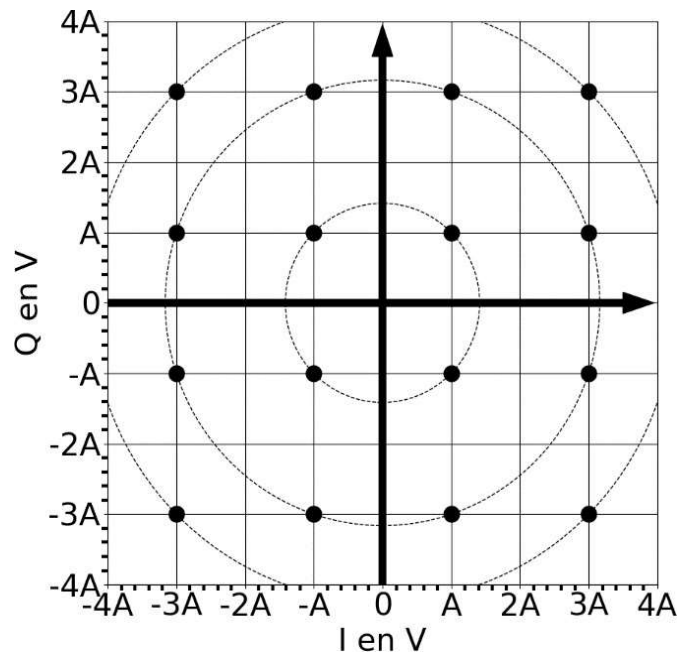


Figure 8 – Constellation 16-QAM

Le signal modulé 16-QAM peut prendre trois valeurs d'amplitudes différentes.

Q42. Compléter le document réponse **DR-SP1**, en déterminant les deux valeurs d'amplitudes manquantes ainsi que le nombre d'états correspondants, en fonction de A .

Les 16 états de la constellation 16-QAM sont équiprobables. La tension $e(t)$ appliquée aux bornes d'une résistance R dissipe une puissance moyenne P_{QAM} .

La puissance moyenne du signal $e(t)$, modulé en 16-QAM, a pour expression :

$$P_{QAM} = \frac{5A^2}{R}$$

Le modulateur émet avec la même puissance moyenne quelle que soit la modulation employée, QPSK ou 16-QAM.

Q43. Démontrer que la valeur du paramètre A doit être égale à environ 0,45 V pour que la modulation 16-QAM ait la même puissance que la QPSK. On utilisera l'expression de P_{QPSK} établie à la question **Q39**.

SESSION 2023	BTS Systèmes Numériques Option A Informatique et Réseaux Épreuve E4	Page S-SP 11 sur 11
23SN4SNIR1	Sciences Physiques - Sujet	

Q44. Déterminer l'écart de tension, en volt, de la position de deux états plus proches voisins, pour chacune des deux constellations.

Q45. En déduire, parmi les deux modulations (QPSK ou 16-QAM), celle qui est la plus sensible au bruit présent sur le canal de transmission.

La figure 9 donne le taux d'erreur binaire, *TEB*, en fonction du rapport signal sur bruit du canal SNR_{dB} pour les deux modulations.

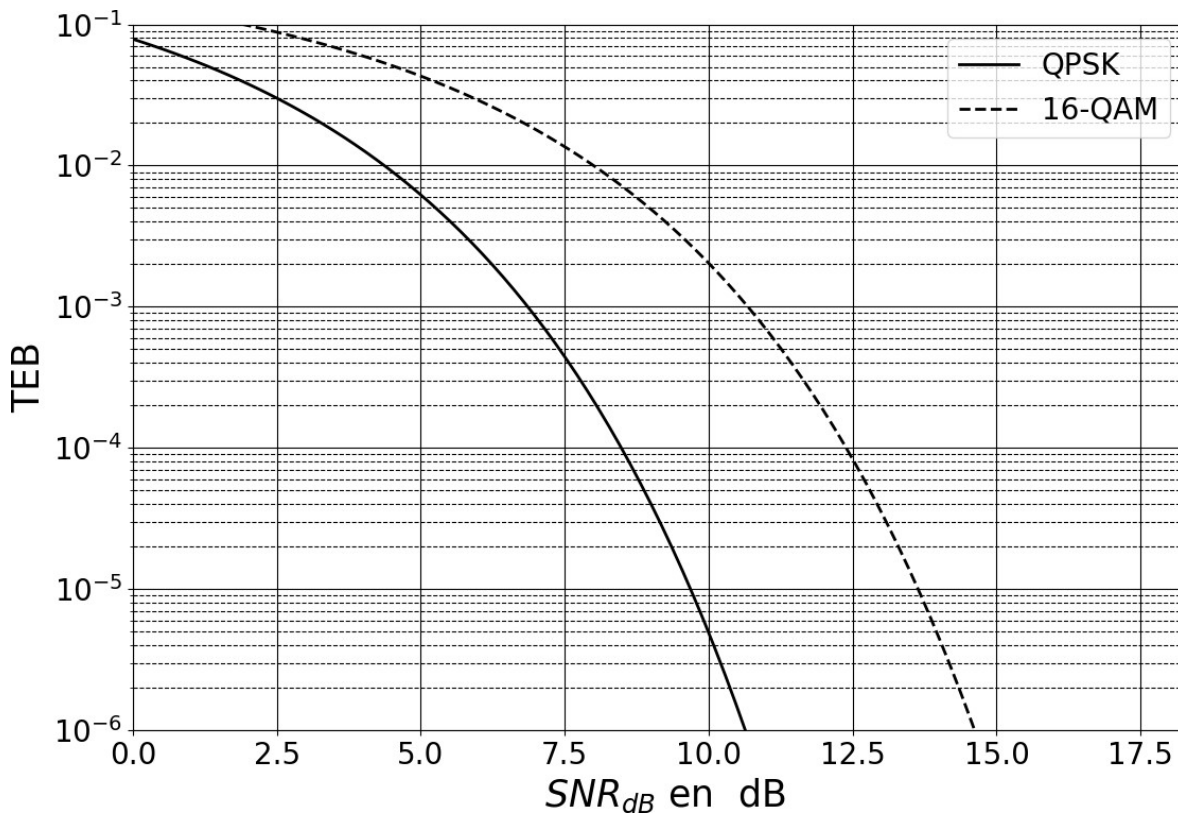


Figure 9 – TEB en fonction de SNR_{dB}

Le rapport signal sur bruit SNR_{dB} dans le canal de transmission doit être de 10 dB.

Q46. Déterminer, dans ces conditions, le taux d'erreur binaire, noté TEB, pour les deux modulations.

Q47. Préciser, dans ces conditions, la modulation qui doit être utilisée.

SESSION 2023	BTS Systèmes Numériques Option A Informatique et Réseaux Épreuve E4	Page S-SP 11 sur 11
23SN4SNIR1	Sciences Physiques - Sujet	

DOCUMENT RÉPONSES - Sciences Physiques

À RENDRE AVEC LA COPIE

Réponses à la question Q29

n	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
x_n	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_{n-1}	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
x_{n-2}	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
x_{n-3}	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
x_{n-4}	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
x_{n-5}	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
x_{n-6}	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
y_n	0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Réponses à la question Q42

Amplitude en Volt	Nombre d'états
$\sqrt{2}$ A	4
...	...
...	...

SESSION 2023	BTS Systèmes Numériques Option A Informatique et Réseaux Épreuve E4	Page DOC 16 sur 16
23SN4SNIR1	Documentation	