

# SUJET

## Option B Électronique et Communications

Partie 2 Sciences physiques

Durée 2 h coefficient 2

Le sujet est composé de quatre parties indépendantes :

Partie A : mesure de la concentration de dihydrogène dans l'air ;

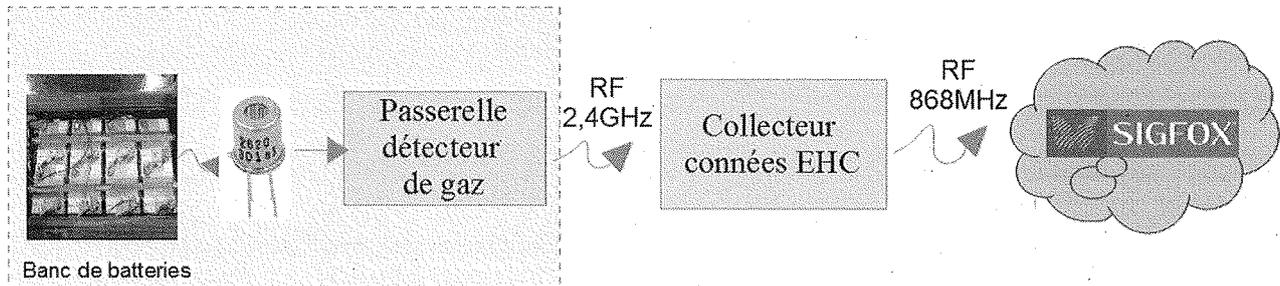
Partie B : traitement numérique du signal ;

Partie C : transmission RF des données ;

Partie D : bilan de liaison.

### Présentation

*Le dihydrogène est un gaz explosif en présence d'air. Le système de surveillance doit permettre de détecter un dégazage anormal des batteries. Si c'est le cas, alors le kit d'entretien de charge des batteries est mis hors tension et une information est transmise en radiofréquence au collecteur de données EHC (enceinte à hygrométrie contrôlée).*



Dispositif répété 5 fois au maximum

Session 2021	BTS Systèmes Numériques Option B Électronique et Communications Épreuve E4	Page S-SP 1 sur 10
21SN4SNEC1	Sciences Physiques - Sujet	

## Partie A. Mesure de la concentration de dihydrogène dans l'air.

**Problématique :** mise en œuvre du capteur et détermination de la tension de seuil permettant de signaler un dégazage anormal des batteries.

Le seuil de dégazage anormal des batteries est fixé à 0,4 % de dihydrogène dans l'air. Des concentrations exprimées en % sont peu maniables lorsqu'elles sont faibles. Il est alors plus pratique de changer d'échelle.

L'échelle utilisée est ppm (parties par million) : 1 % correspond à 10 000 ppm (parties par million).

**Q40.** Exprimer en ppm le seuil de dégazage anormal des batteries, noté  $S_H$ .

Le capteur de gaz est constitué d'une couche sensible fabriquée à l'aide d'un oxyde métallique semi-conducteur. La résistance  $R_S$  de cette couche varie en présence d'un gaz.

La figure 1 montre le circuit de base utilisé pour mettre en œuvre le capteur.

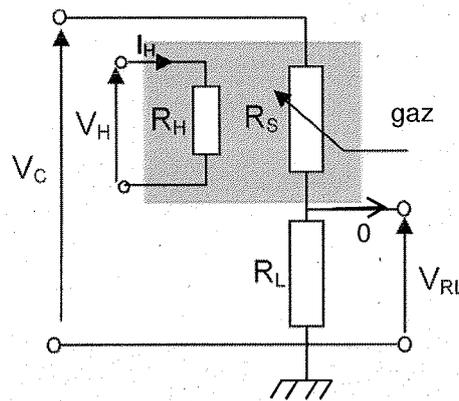


Figure 1

$R_S$  : résistance de la couche sensible, dépend de l'environnement gazeux.

$R_H$  : résistance de chauffage.

$R_L$  : résistance de mesure.

$V_c = 5 \text{ V}$  : tension de polarisation de la couche sensible.

$V_H = 5 \text{ V}$  : tension de chauffage à température ambiante de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Afin d'obtenir une détection optimale, la couche sensible du capteur doit être chauffée. En mode isotherme (température constante), le courant consommé en fonction du temps est représenté figure 2.

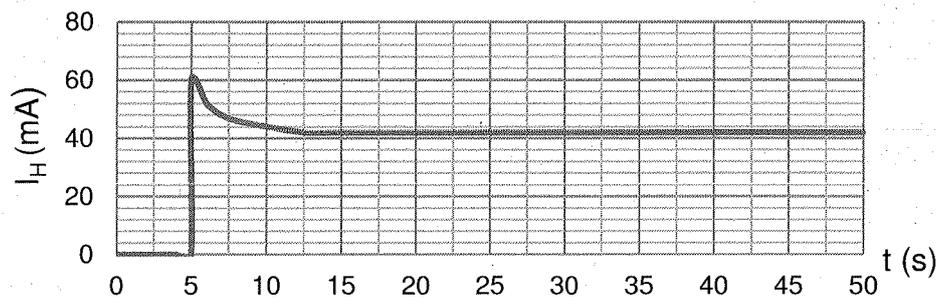


Figure 2

Session 2021	BTS Systèmes Numériques Option B Électronique et Communications Épreuve E4	Page S-SP 2 sur 10
21SN4SNEC1	Sciences Physiques - Sujet	

**Q41.** Relever l'intensité  $I_H$  du courant de chauffage en régime permanent.

**Q42.** Calculer la puissance  $P_H$  consommée correspondante.

**Q43.** Exprimer la tension  $V_{RL}$  en fonction de  $R_L$ ,  $R_S$  et  $V_C$ .

Sur la figure 3 est représentée la variation de  $\frac{R_S}{R_L}$  du capteur en fonction de différentes concentrations de gaz exprimées en ppm.

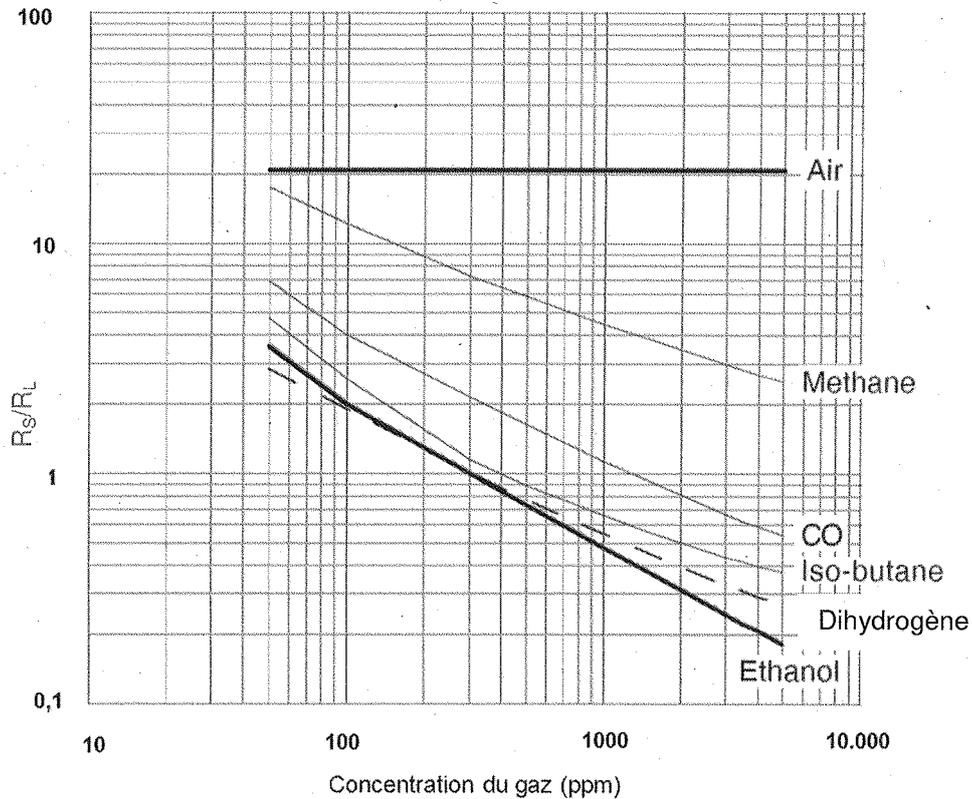


Figure 3

**Q44.** Déterminer à partir du graphe de la figure 3, la valeur du rapport  $\frac{R_S}{R_L}$  pour la concentration de dihydrogène de 4 000 ppm.

**Q45.** Calculer la tension de seuil correspondante, notée  $V_{RL\_seuil}$ .

Session 2021	BTS Systèmes Numériques Option B Électronique et Communications Épreuve E4	Page S-SP 3 sur 10
21SN4SNEC1	Sciences Physiques - Sujet	

## Partie B. Traitement numérique du signal.

**Problématique : supprimer les perturbations dues à l'alimentation 50 Hz.**

Le signal issu de la chaîne de mesure, à évolution très lente, est parasité par un bruit de « ronflement du secteur » (50 Hz). Afin d'éliminer ce bruit, un filtre numérique à moyenne glissante sur 8 échantillons est mis en œuvre.

La structure d'acquisition et de traitement numérique du signal issu du capteur est représentée figure 4 :

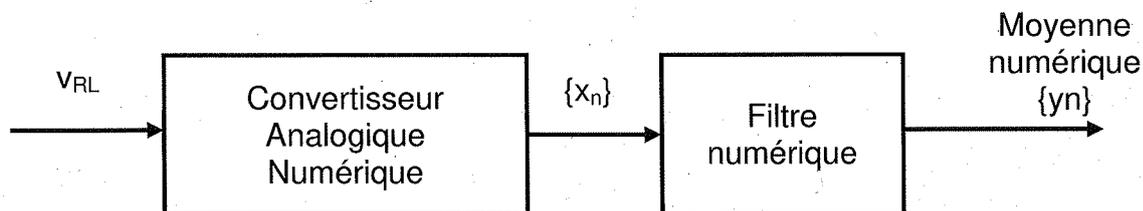


Figure 4

Étude de la numérisation du signal

Le Convertisseur Analogique Numérique (CAN) est alimenté en 5 V et a une résolution numérique de 10 bits.

**Q46.** Montrer que le quantum du CAN, noté  $q$ , est égal à 4,89 mV.

**Q47.** Calculer la valeur décimale  $N$  pour une tension de mesure,  $V_{RL}$  de 3,85 V.

Étude du filtre numérique

Le filtre numérique d'entrée  $x_n$  et de sortie  $y_n$  est défini par l'équation de récurrence :

$$y_n = \frac{X_n + X_{n-1} + X_{n-2} + X_{n-3} + X_{n-4} + X_{n-5} + X_{n-6} + X_{n-7}}{8}$$

**Q48.** Déterminer, en le justifiant, le type (récursif ou non) de ce filtre numérique.

La figure 5, représente l'impulsion  $\{x_n\}$  appliquée en entrée du filtre et sa réponse notée  $\{y_n\}$ .

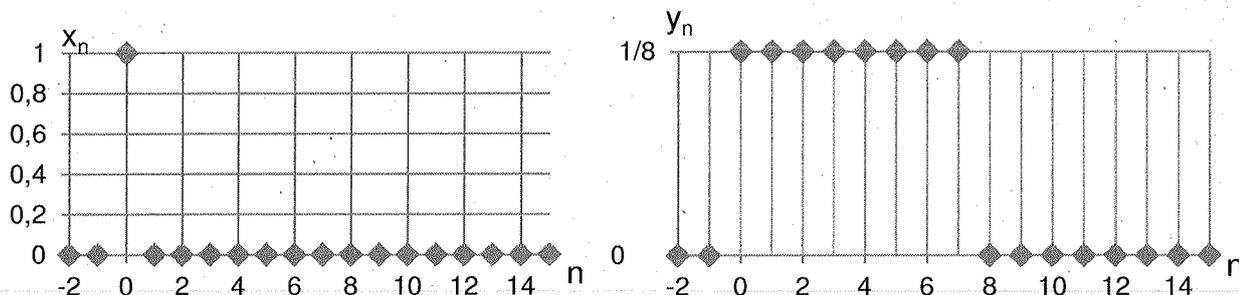


Figure 5

**Q49.** Indiquer si le filtre est stable en justifiant la réponse.

Session 2021	BTS Systèmes Numériques Option B Électronique et Communications Épreuve E4	Page S-SP 4 sur 10
21SN4SNEC1	Sciences Physiques - Sujet	

**Q50.** Exprimer la transmittance en z du filtre définie par :  $H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)}$ .

La courbe de gain  $G(\text{dB})$  en fonction de  $\frac{f}{F_e}$  du filtre numérique est représentée ci-dessous, figure 6,  $F_e$  étant la fréquence d'échantillonnage.

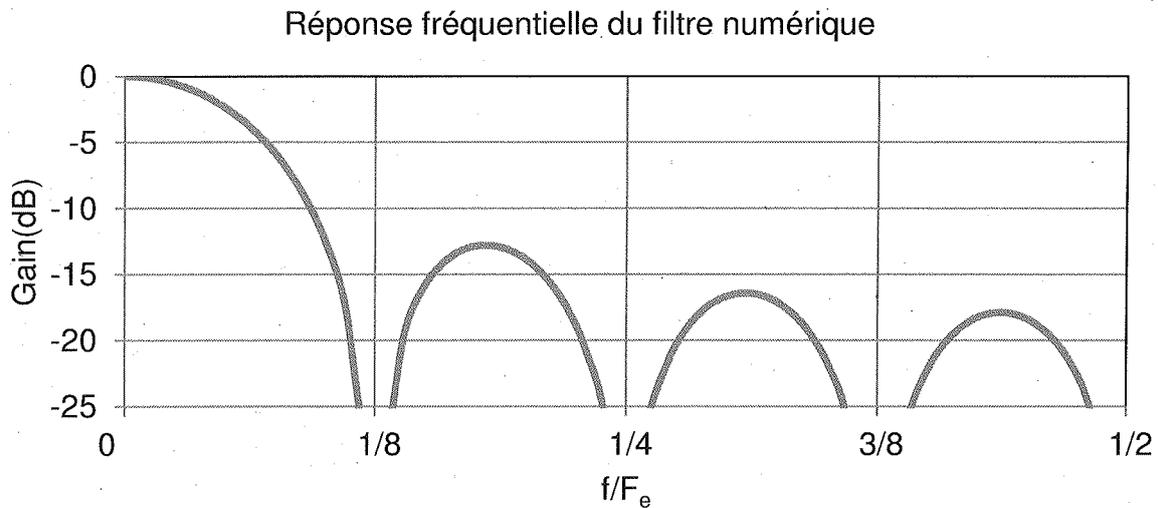


Figure 6

Le filtre numérique fonctionne en coupe-bande pour certaines fréquences. Le concepteur de la carte passerelle détecteur de gaz met à profit cette propriété pour éliminer les fréquences indésirables.

**Q51.** Déterminer en fonction de  $F_e$ , les fréquences rejetées.

**Q52.** Calculer la valeur de  $F_e$  permettant d'éliminer la composante secteur 50 Hz et ses premiers harmoniques 100 Hz, 150 Hz et 200 Hz.

Session 2021	BTS Systèmes Numériques Option B Électronique et Communications Épreuve E4	Page S-SP 5 sur 10
21SN4SNEC1	Sciences Physiques - Sujet	

## Partie C. Transmission RF des données.

**Problématique : vérifier la continuité de la phase lors de la transmission d'une trame.**

Un module Xbee est utilisé pour la transmission.

Le protocole de communication (Zigbee) utilise la modulation O-QPSK/demi-sinus dans laquelle l'information est portée par la phase.

Pour obtenir un signal modulé  $s(t)$  à enveloppe constante, la phase ne doit pas présenter des sauts lors d'un changement de symbole.

Les fréquences porteuses des canaux sont comprises entre 2 405 MHz et 2 480 MHz avec un espacement inter-canal de 5 MHz.

**Q53.** Calculer le nombre de canaux possibles.

Le spectre du signal émis par le module Xbee est représenté sur le document réponses DR SP1.

**Q54.** Déterminer en exploitant le relevé du spectre du signal émis, la fréquence centrale sachant que la fréquence la plus basse (start Freq) est 2,4075 GHz et la largeur totale (Span) est de 5 MHz. Indiquer sa valeur dans le tableau du document réponses page DR-SP1.

La fréquence porteuse d'un canal  $k$  est donnée par la relation :

$$F_{pk}(\text{MHz}) = 2\,405 + 5 \times (k-11)$$

**Q55.** En déduire le numéro du canal correspondant au relevé précédent. Compléter sa valeur dans le tableau du document réponses page DR-SP1.

**Q56.** Déterminer la bande occupée par ce canal en se limitant au lobe principal. Faire apparaître la construction et compléter sa valeur dans le tableau du document réponses page DR-SP1.

Le schéma du modulateur O-QPSK est représenté ci-dessous figure 7.

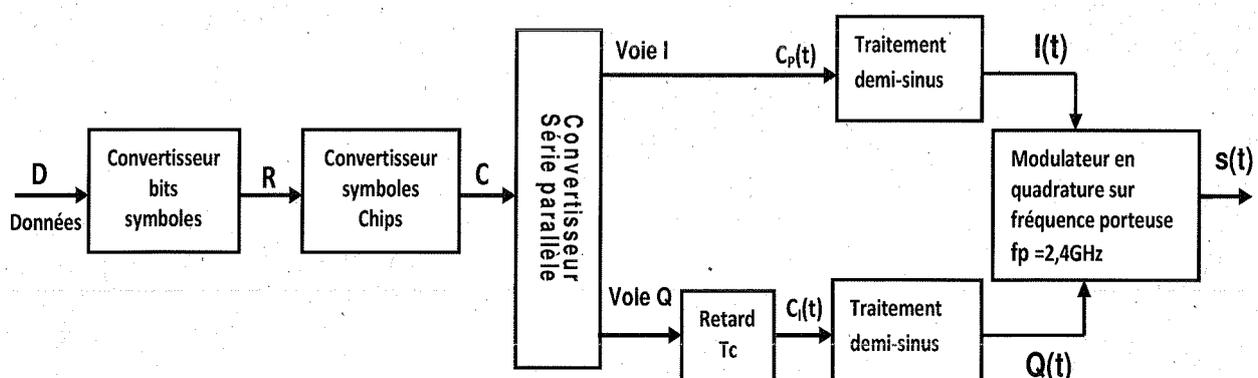


Figure 7

Session 2021	BTS Systèmes Numériques Option B Électronique et Communications Épreuve E4	Page S-SP 6 sur 10
21SN4SNEC1	Sciences Physiques - Sujet	

Le convertisseur bit à symbole fait correspondre un symbole à un groupe de 4 bits.

Le convertisseur symbole à chips fait correspondre un code PN de 32 chips ( $C_0 C_1 C_2 \dots C_{31}$ ) à chaque symbole.

Un extrait de la documentation Zigbee (figure 8) donne le code PN des quatre premiers symboles 0, 1, 2 et 3, en binaire ou en hexadécimal.

Data Symbols	Chip values ( $C_0, C_{31}$ )
0	11 01 10 01 11 00 00 11 01 01 00 10 00 10 11 10 <sub>bin</sub>
	3 1 2 1 3 0 0 3 1 1 0 2 0 2 3 2 <sub>hex</sub>
1	11 10 11 01 10 01 11 00 00 11 01 01 00 10 00 10
2	00 10 11 10 11 01 10 01 11 00 00 11 01 01 00 10
3	00 10 00 10 11 10 11 01 10 01 11 00 00 11 01 01

Figure 8

Le document réponses page DR-SP2 représente les 11 premiers chips d'un code PN :

- les chips pairs  $C_p$  ( $C_0, C_2, C_4, \dots, C_{10}$ ),
- les chips impairs  $C_i$  ( $C_1, C_3, C_5, \dots, C_{11}$ ), transmis avec un retard d'une durée  $T_c$  par rapport aux chips pairs.

Par exemple, pour le symbole 1,  $C_0=1, C_1=1, C_2=1$  et  $C_3=0$ .

Chaque chip dure  $2T_c$ .

**Q57.** Identifier à partir du document réponses page DR-SP2 le symbole codé.

Les chips pairs sont modulés sur la voie I et les chips impairs sont modulés sur la voie Q.

Le module traitement demi-sinus de chaque voie génère :

- un « demi-sinus » positif sur une durée  $2T_c$  lorsque son entrée est à 1
- un « demi-sinus » négatif sur une durée  $2T_c$  lorsque son entrée est à 0.

**Q58.** Représenter sur le document réponses page DR-SP2, les signaux I(t) et Q(t) en sortie des unités de traitement demi-sinus.

Session 2021	BTS Systèmes Numériques Option B Électronique et Communications Épreuve E4	Page S-SP 7 sur 10
21SN4SNEC1	Sciences Physiques - Sujet	

Lors d'un changement de couple de chips pair-impair, la variation de phase  $\Phi_k$  est de  $\pm 90^\circ$  par rapport au couple précédent, selon le diagramme de transition de phase représenté figure 9. Par exemple, si la phase vaut  $90^\circ$  et que le nouveau couple est 01, la phase passe à  $180^\circ$ , mais s'il vaut 11, elle passe à  $0^\circ$ .

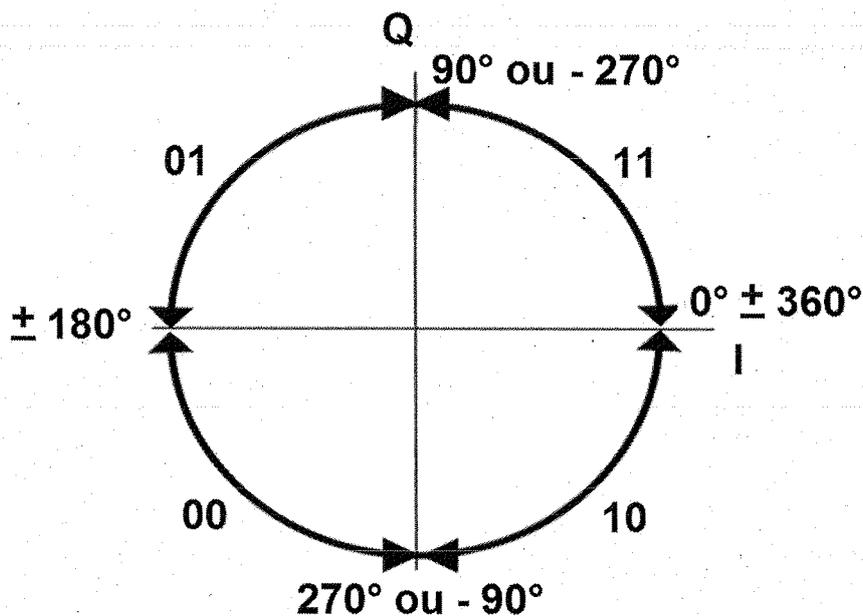


Figure 9

- Q59.** Représenter sur le document réponses page DR-SP2, la variation de la phase  $\Phi_k$  lors de la transmission des 11 premiers chips d'une séquence PN.
- Q60.** Préciser comment varie la phase lors de cette transmission.

Session 2021	BTS Systèmes Numériques Option B Électronique et Communications Épreuve E4	Page S-SP 8 sur 10
21SN4SNEC1	Sciences Physiques - Sujet	

## Partie D. Bilan de liaison.

**Problématique : déterminer la distance maximale émission/réception.**

Le technicien d'installation doit déterminer à quelle distance placer le collecteur de données EHC. Pour cela il effectue un bilan de liaison entre un émetteur et un récepteur en tenant compte des contraintes ci-dessous :

- la propagation est en intérieur et on considérera une atténuation linéaire.
- la réception est supposée satisfaisante lorsque le taux d'erreur paquet (Packet Error rate) PER est inférieur à 1 %.

Le PER est défini par :  $PER(\%) = \frac{\text{nombre de paquets d'octets erronés}}{\text{nombre de paquets d'octets reçus}}$

Une partie du signal émis et du signal reçu par les antennes subit un phénomène d'écho, appelé pertes de retour.

Caractéristiques des modules Xbee :

- Puissance d'émission  $P_e = 1 \text{ mW}$
- Gain antenne émetteur/ récepteur  $G_e = G_r = 0 \text{ dBi}$
- Pertes de retour (Return losses) émetteur/récepteur  $L_e = L_r = 3 \text{ dB}$

**Q61.** Calculer la puissance d'émission exprimée en dBm, notée  $P_e(\text{dBm})$  et valant  $10 \cdot \log\left(\frac{P_e}{P_{\text{ref}}}\right)$  avec  $P_{\text{ref}} = 10^{-3} \text{ W}$ .

**Q62.** Calculer, côté émetteur la puissance isotrope rayonnée équivalente (PIRE), exprimée en dBm et définie par :  $PIRE = P_e + G_e - L_e$ .

Un paquet Zigbee est composé de 26 octets.

Un symbole est composé de 4 bits de données.

**Q63.** Calculer le nombre de symboles par paquet, noté  $N_s$ .

**Q64.** Montrer que, dans le cas satisfaisant à la limite, le taux d'erreur de symbole SER (Symbol Error Rate) défini par :  $SER = \frac{PER}{N_s}$  est égal à  $1,92 \cdot 10^{-4}$

En moyenne, on approxime une erreur de symbole par 2 bits d'erreur. Le taux d'erreur binaire noté BER est donc défini par la relation :  $BER = \frac{SER}{2}$ .

**Q65.** Dédurre du graphe donné figure 10, le rapport signal sur bruit SNR permettant d'obtenir un PER à 1 %.

Session 2021	BTS Systèmes Numériques Option B Électronique et Communications Épreuve E4	Page S-SP 9 sur 10
21SN4SNEC1	Sciences Physiques - Sujet	

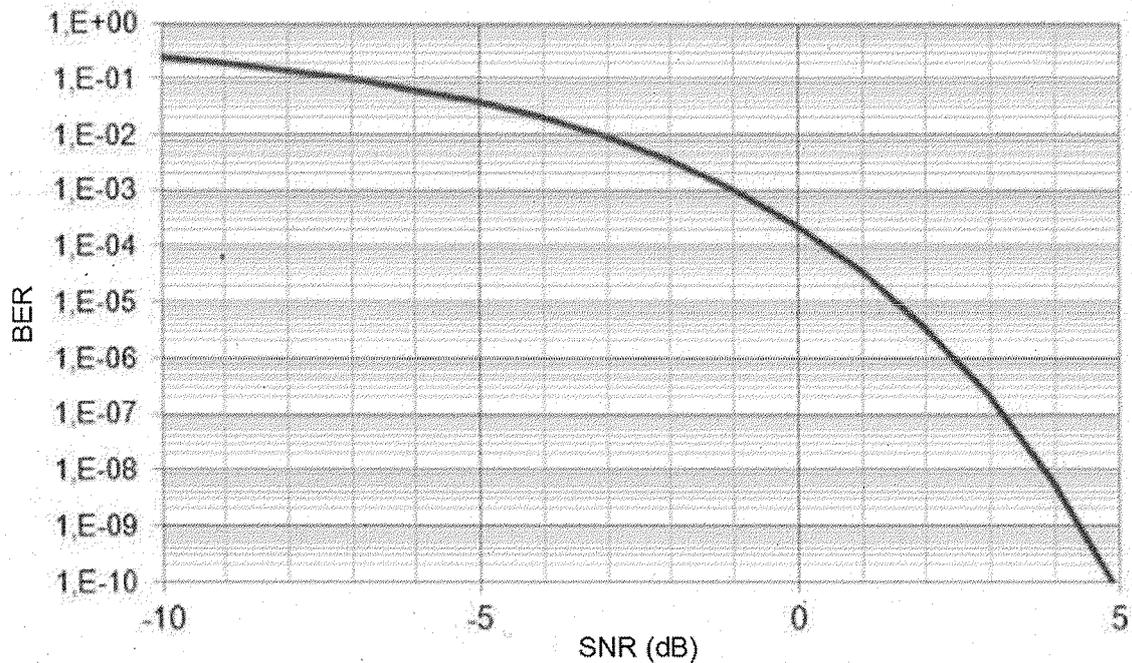


Figure 10

La sensibilité  $S$  exprimée en dBm du récepteur Xbee pour une source de bruit à la température de référence  $T_0$  de 300 K est définie par :

$$S = -166 + 10 \cdot \log(B) + SNR$$

- Q66.** Montrer que la sensibilité du récepteur Xbee pour une bande canal  $B$  de 3 MHz, notée  $S$ , est égale à -100,7 dBm.
- Q67.** Déterminer, à partir d'une construction graphique sur le document réponses page DR-SP3 et en tenant compte de la perte de retour du récepteur, la distance maximale  $d_{\max}$  permettant une transmission correcte entre la passerelle détecteur de gaz et le collecteur de données EHC.

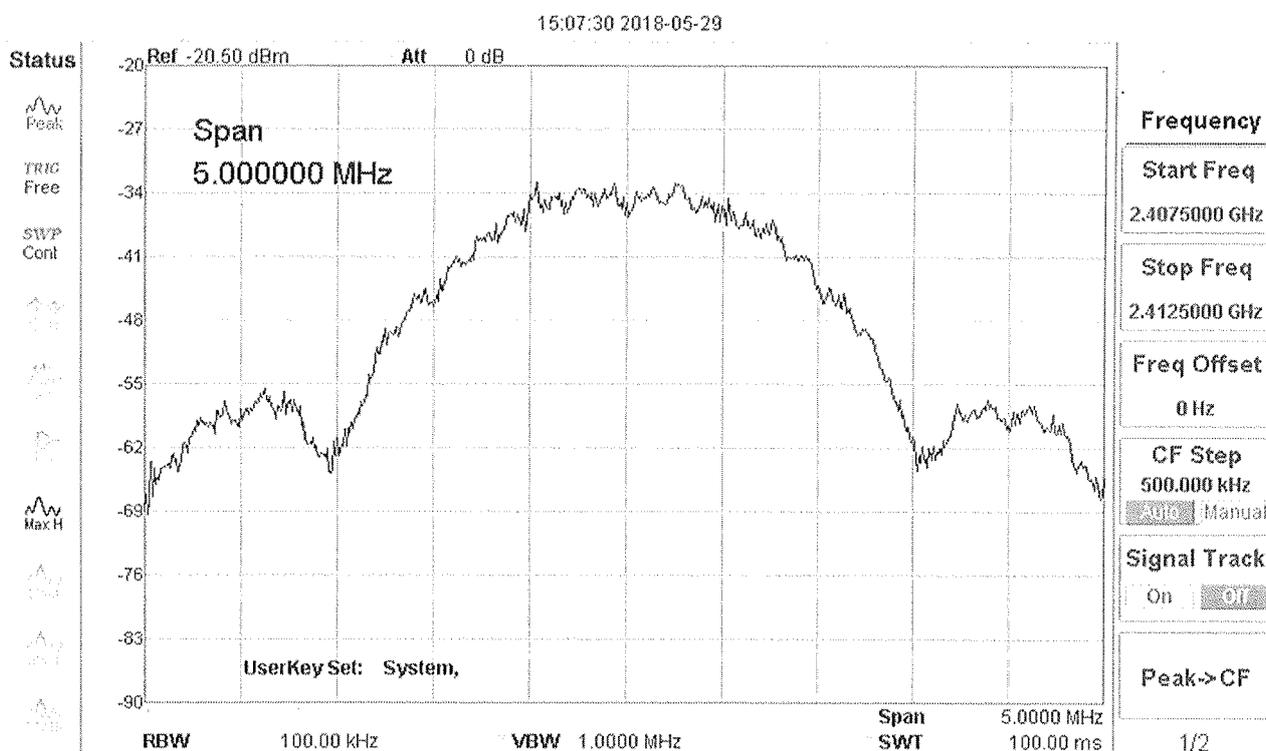
Session 2021	BTS Systèmes Numériques Option B Électronique et Communications Épreuve E4	Page S-SP 10 sur 10
21SN4SNEC1	Sciences Physiques - Sujet	

# DOCUMENT RÉPONSES - Sciences Physiques

## À RENDRE AVEC LA COPIE

### Réponses aux questions Q54, Q55, Q56

#### Spectre du signal Zigbee

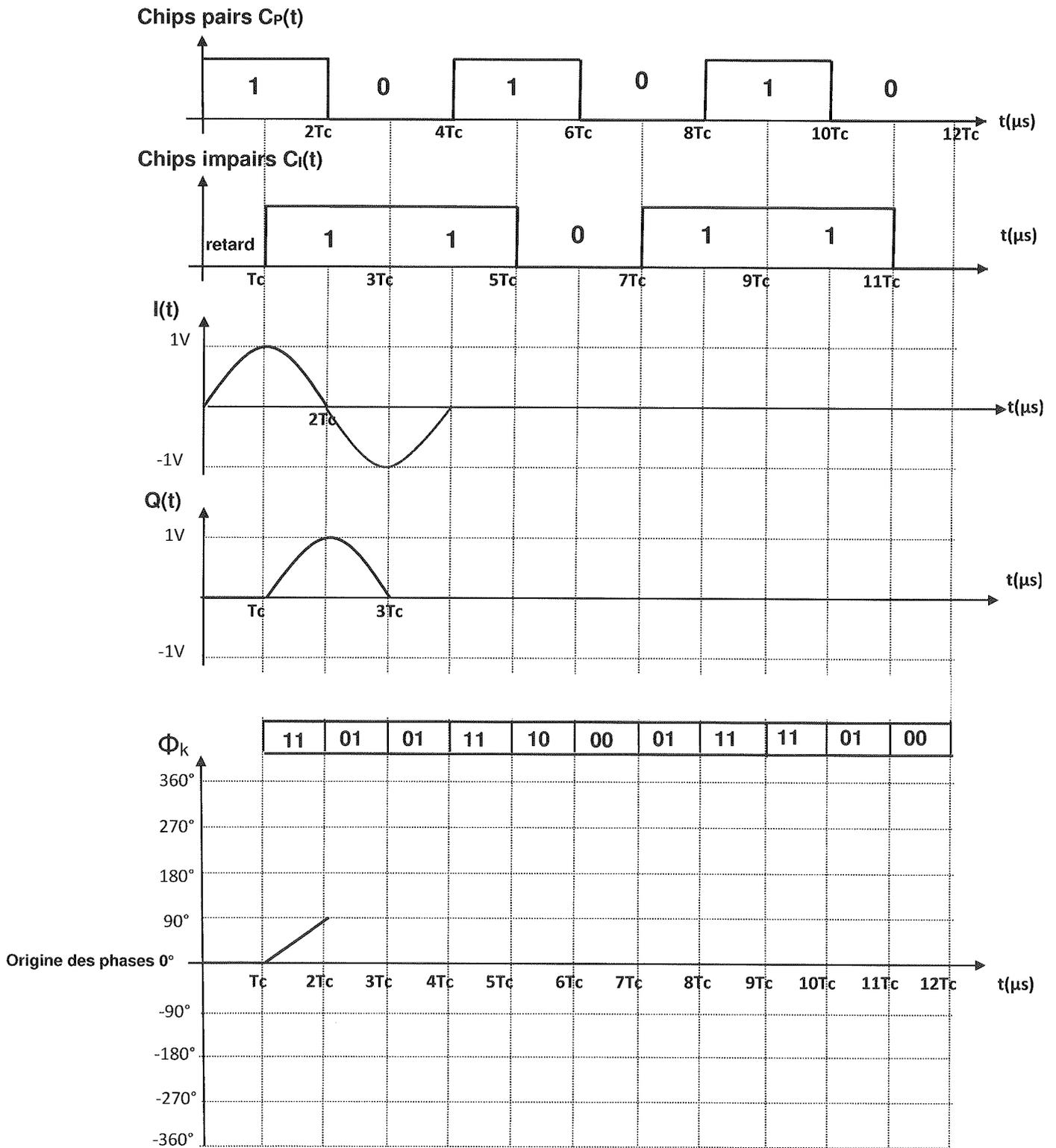


Fréquence centrale	
Numéro canal	
Bande canal	

Session 2021	BTS Systèmes Numériques Option B Électronique et Communications Épreuve E4	Page DR-SP 1 sur 3
21SN4SNEC1	Sciences Physiques - Document réponses	



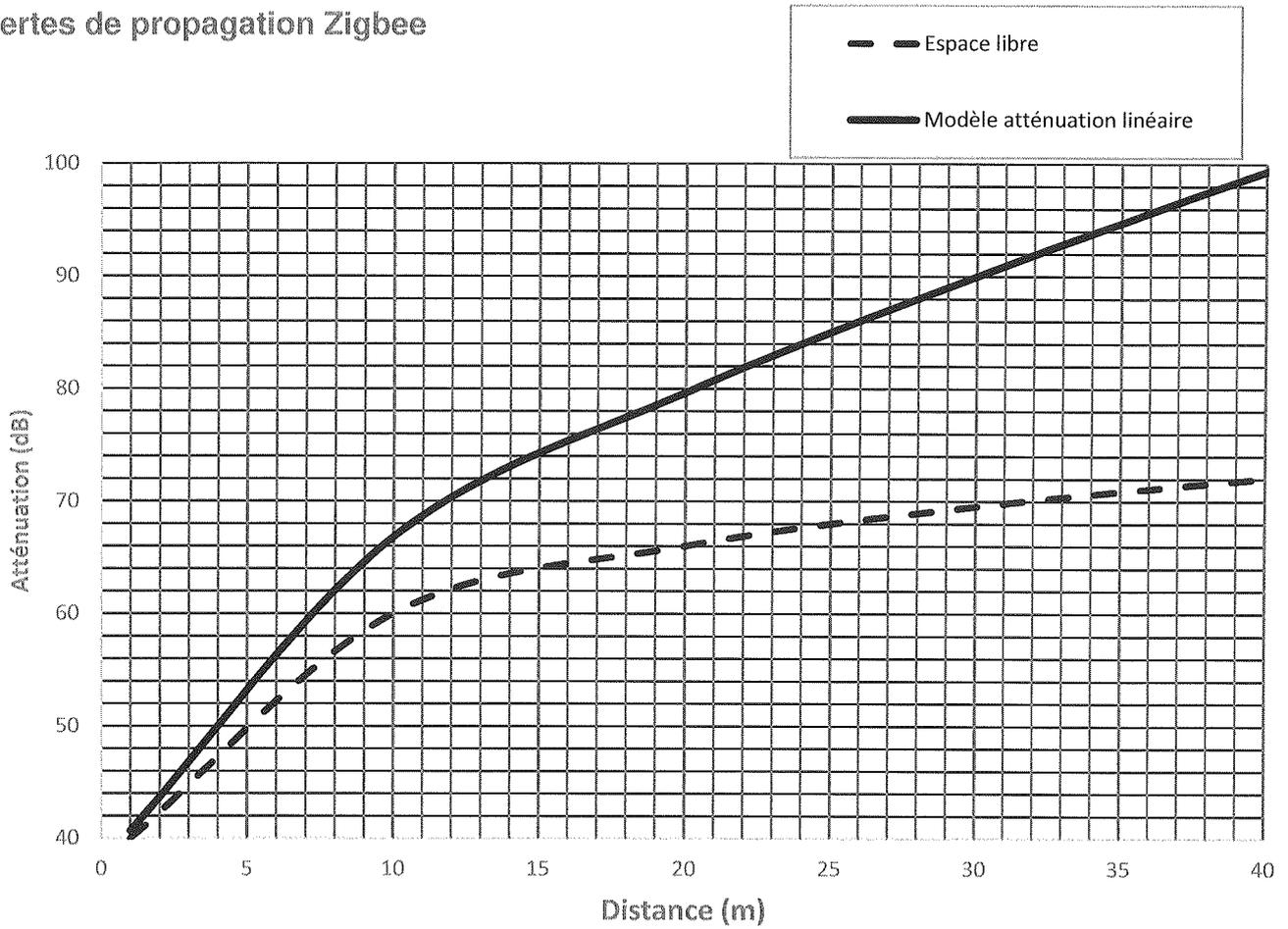
**Réponses aux questions Q57, Q58, Q59**





## Réponse à la question Q67

### Pertes de propagation Zigbee



Session 2021	BTS Systèmes Numériques Option B Électronique et Communications Épreuve E4	Page DR-SP 3 sur 3
21SN4SNEC1	Sciences Physiques - Document réponses	

