

modulation num.
 Filtrage num.
 bilan de liaison

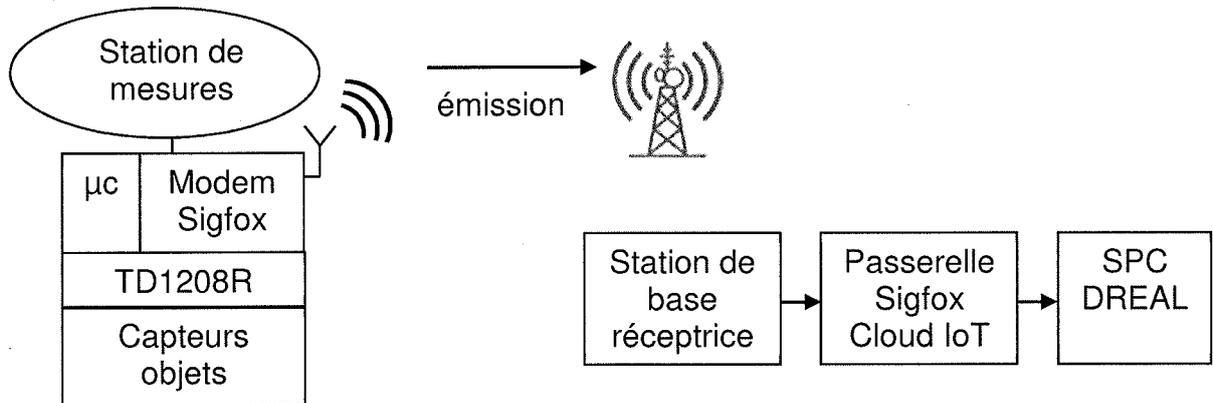
SUJET

Option A Informatique et Réseaux

Partie 2 Sciences physiques

Durée 2 h coefficient 2

Sigfox, opérateur télécom français de l'internet des Objets (IoT), est spécialisé dans le M2M (Machine to Machine) via des réseaux bas débit. Il contribue à l'internet des objets en permettant l'interconnexion des objets (ici, les stations de collecte) via une passerelle (Passerelle Sigfox).



Le réseau Sigfox permet la communication de données de taille réduite entre les appareils connectés sans passer par un téléphone mobile.

Sa technologie radio UNB (Ultra Narrow Band) lui permet de bâtir un réseau cellulaire bas-débit, longue portée. *Narrow : étroit.

Peu énergivore, ce réseau utilise des bandes de fréquences libres de droit disponibles pour le monde entier, comme les bandes ISM (Industrielle Scientifique Médicale). En Europe, il s'agit de l'ISM à 868 MHz et plus particulièrement une bande de 192 kHz située ente 868,034 MHz et 868,226 MHz. Cette bande de fréquences doit néanmoins suivre une réglementation dictée par l'ARCEP (Autorité de Régulation des Communications Électroniques et des Postes).

L'objectif est de vérifier que le réseau Sigfox est plus adapté à la collecte des données par le service de Prévision des crues que le réseau GSM actuel.

Le sujet est composé de 4 parties indépendantes.

- Partie A : détermination du nombre maximal de messages envoyés par jour
- Partie B : caractéristiques de la modulation employée
- Partie C : détermination de la portée de transmission
- Partie D : synthèse : validation du réseau Sigfox

Session 2018	BTS Systèmes Numériques Option A Informatique et Réseaux Épreuve E4	Page S-SP1 sur 9
18SN4SNIR1	Sciences physiques - Sujet	

Partie A. Détermination du nombre maximal de messages envoyés par jour

L'ARCEP a fixé, en particulier, deux contraintes importantes pour la bande utilisée par Sigfox :

- Puissance d'émission maximale : 25 mW
- La durée d'émission Δt_E doit être au maximum égale à 1 % du temps.

Un message est envoyé par l'objet depuis la station de mesures vers la station de base réceptrice. Un message est constitué de 3 trames, chacune contient 12 octets identiques. Chaque trame est émise sur des fréquences porteuses f_{p1} puis f_{p2} et f_{p3} . Ces fréquences sont choisies de manière aléatoire. La durée de chaque trame est identique et vaut 2,08 s. La structure du message envoyé est donnée figure 1.

Q24. Calculer la durée maximale d'émission Δt_E par jour. Exprimer votre résultat en secondes.

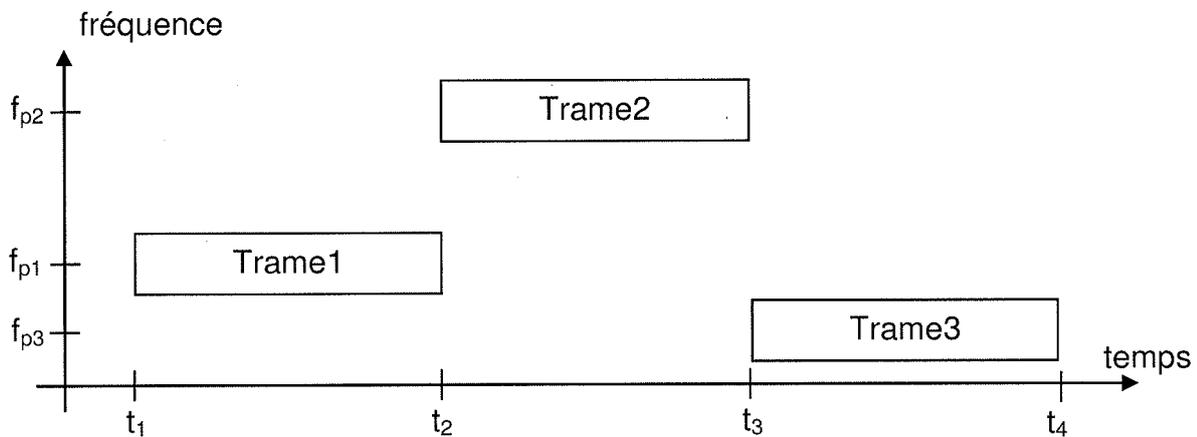


Figure 1. Structure du message envoyé

Q25. Calculer la durée Δt_m nécessaire à la transmission d'un message.

Q26. Calculer le nombre maximal N_{\max} de messages pouvant être transmis par jour via le réseau.

Session 2018	BTS Systèmes Numériques Option A Informatique et Réseaux Épreuve E4	Page S-SP2 sur 9
18SN4SNIR1	Sciences physiques - Sujet	

Partie B. Caractéristiques de la modulation employée

Le cahier des charges lié à la technologie radio UNB impose :

- une modulation simple par ondes radiofréquences.
- un flux de données binaires de largeur de bande limitée à 100 Hz.
- une insensibilité du message Sigfox aux autres utilisateurs de la bande ISM.

Le relevé du spectre des trois trames, obtenu à l'aide d'un analyseur de spectre, est donné figure 2.

On donne $f_{p2} = 868,155 \text{ MHz}$ $f_{p3} = 868,065 \text{ MHz}$.

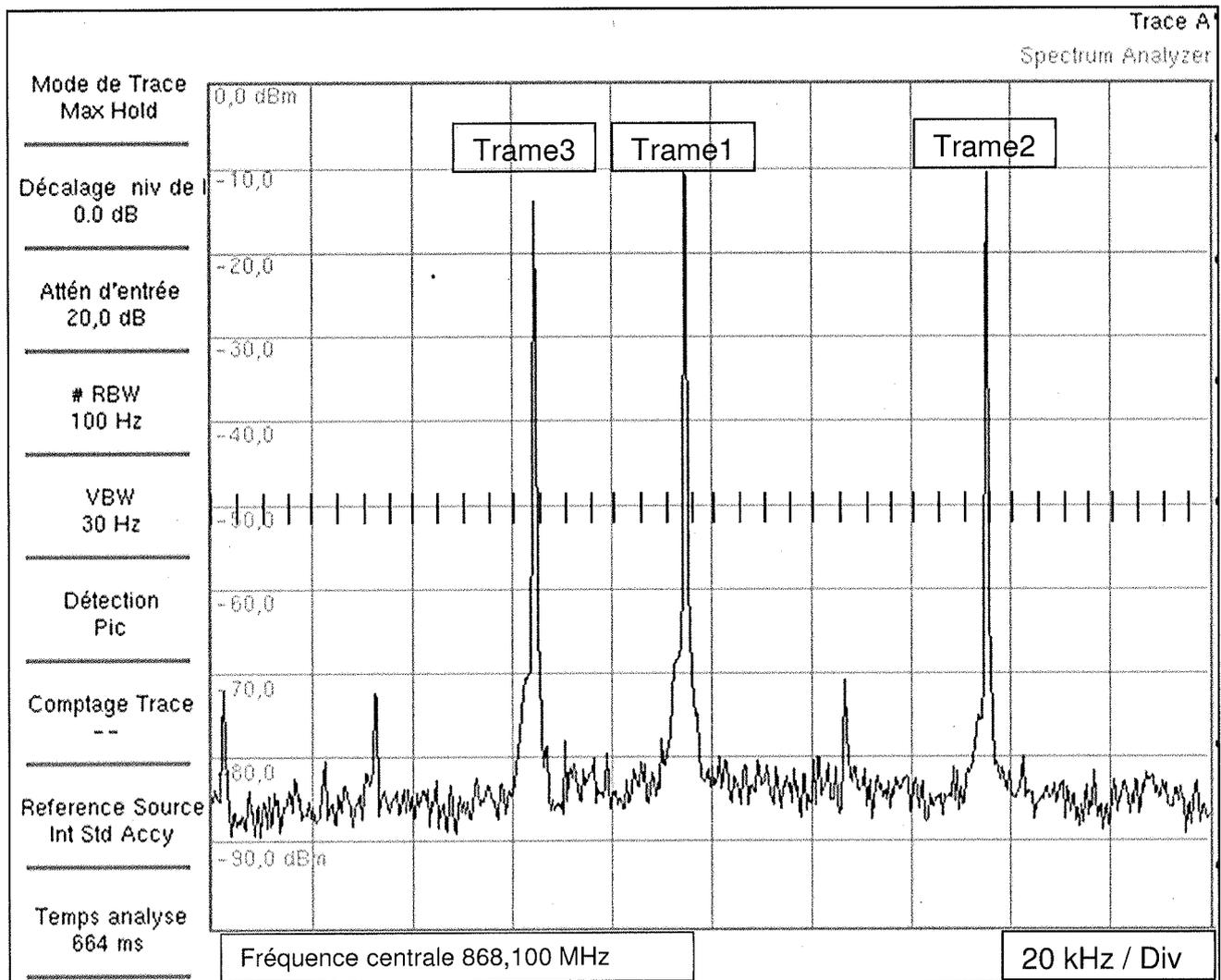


Figure 2 : DSP du message émis

Q27. Déterminer la fréquence porteuse f_{p1} de la trame 1 à partir du spectre représenté sur la figure 2.

Session 2018	BTS Systèmes Numériques Option A Informatique et Réseaux Épreuve E4	Page S-SP3 sur 9
18SN4SNIR1	Sciences physiques - Sujet	

- Q28.** Valider le fait que l'émission de ce message est bien réalisée dans la bande ISM définie à la page S-SP1.
- Q29.** Justifier le terme de transmission UNB (Ultra Narrow Band) à partir de la documentation SP1.

La transmission des messages est effectuée par ondes radiofréquences.

Le signal transmis est de type Differential Binary Phase Shift Keying, DBPSK ou encore Modulation par Déplacement de Phase Différentielle MDPD.

Pour cette modulation, la transmission du bit d_k est réalisée par un signal porteur $u_p(t) = U_m \cdot \sin(2\pi f t + \Phi_k)$ telle que :

- *Si $d_k = \ll 0 \gg$ alors $\Phi_k = \Phi_{k-1}$.*
- *Si $d_k = \ll 1 \gg$ alors $\Phi_k = \Phi_{k-1} + \pi$.*

- Q30.** Compléter le document réponses page DR-SP1 en déterminant les valeurs de la phase Φ_k associée au mot binaire transmis.

Pour une fréquence porteuse de 868,1 MHz, le nombre de périodes de cette porteuse pendant la durée d'un bit T_B , est $N = 8\,680\,000$.

- Q31.** Calculer T_B la durée d'un bit.
- Q32.** En déduire le débit binaire D en bits par seconde (bps). Comparer à la valeur donnée dans la documentation SP1.
- Q33.** Qualifier ce débit en disant s'il est bas ou élevé.

Session 2018	BTS Systèmes Numériques Option A Informatique et Réseaux Épreuve E4	Page S-SP4 sur 9
18SN4SNIR1	Sciences physiques - Sujet	

Pour respecter le deuxième point du cahier des charges, un filtre d'émission est utilisé. La représentation, figure 3, donne la densité spectrale de puissance (DSP) du flux binaire brut et la DSP du flux binaire après filtrage.

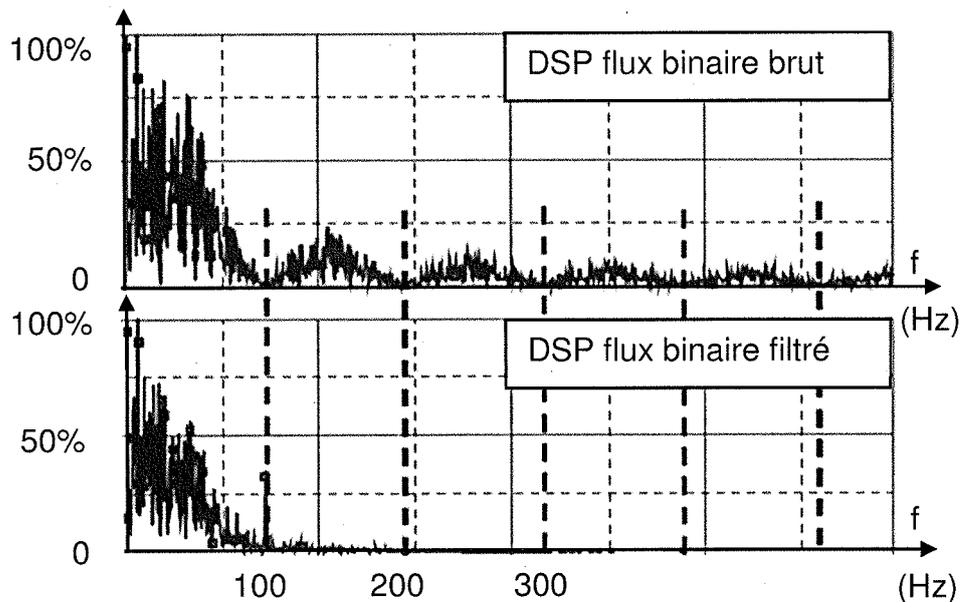
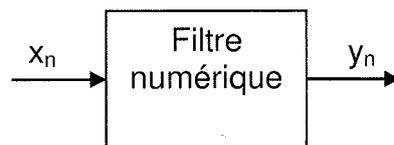


Figure 3 : DSP du flux binaire brut puis filtré

Q34. Donner la nature (passe-bas, passe-haut, passe-bande, coupe-bande) du filtre permettant de réaliser le filtrage du flux binaire.

Ce filtre est réalisé de manière numérique.



L'équation de récurrence associée à ce filtre de signaux d'entrée x_n et de sortie y_n , échantillonnés à la fréquence $f_e = 1000$ Hz, est la suivante :

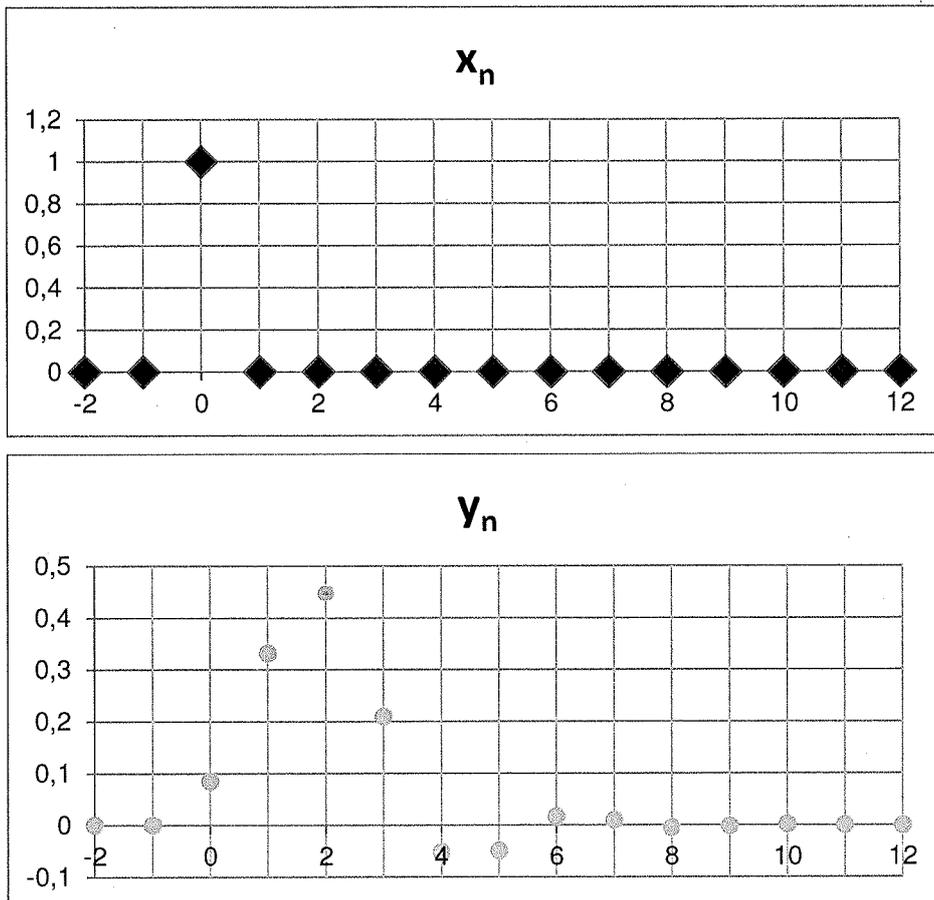
$$y_n = 0,085 \cdot x_n + 0,34 \cdot x_{n-1} + 0,51 \cdot x_{n-2} + 0,34 \cdot x_{n-3} + 0,085 \cdot x_{n-4} - 0,1 \cdot y_{n-1} - 0,255 \cdot y_{n-2} + 1,76 \cdot 10^{-3} \cdot y_{n-3} - 5,09 \cdot 10^{-3} \cdot y_{n-4}$$

Q35. Justifier la récursivité ou la non récursivité de ce filtre.

Q36. Compléter la structure du filtre sur le document réponses page DR-SP1.

Session 2018	BTS Systèmes Numériques Option A Informatique et Réseaux Épreuve E4	Page S-SP5 sur 9
18SN4SNIR1	Sciences physiques - Sujet	

La réponse $\{y_n\}$ à l'impulsion unité $\{x_n\}$ de ce filtre est donnée ci-dessous figure 4.



n	x_n	y_n
-4	0	0
-3	0	0
-2	0	0
-1	0	0
0	1	0,08500
1	0	0,33150
2	0	0,455
3	0	0,20991
4	0	-0,05217
5	0	-0,04932
6	0	0,01632
7	0	0,00981
8	0	-0,00497
9	0	-0,00173
10	0	0,00138
11	0	0,00025
12	0	-0,00036

Figure 4 : réponse impulsionnelle unité

Q37. Exploiter les courbes de la figure 4 et conclure quant à la stabilité de ce filtre.

Session 2018	BTS Systèmes Numériques Option A Informatique et Réseaux Épreuve E4	Page S-SP6 sur 9
18SN4SNIR1	Sciences physiques - Sujet	

Le cahier des charges impose une insensibilité aux émissions qui peuvent provenir d'autres utilisateurs de la bande ISM à 868 MHz.

La figure 5 correspond à l'enregistrement d'un message Sigfox et d'un message d'un autre réseau. Elle comprend l'image d'un scanner et le spectre en puissance des messages.

L'utilisation du scanner radio permet de relever les fréquences émises au cours du temps en faisant apparaître la puissance d'émission dont la représentation sera d'autant plus foncée que la puissance P est élevée.

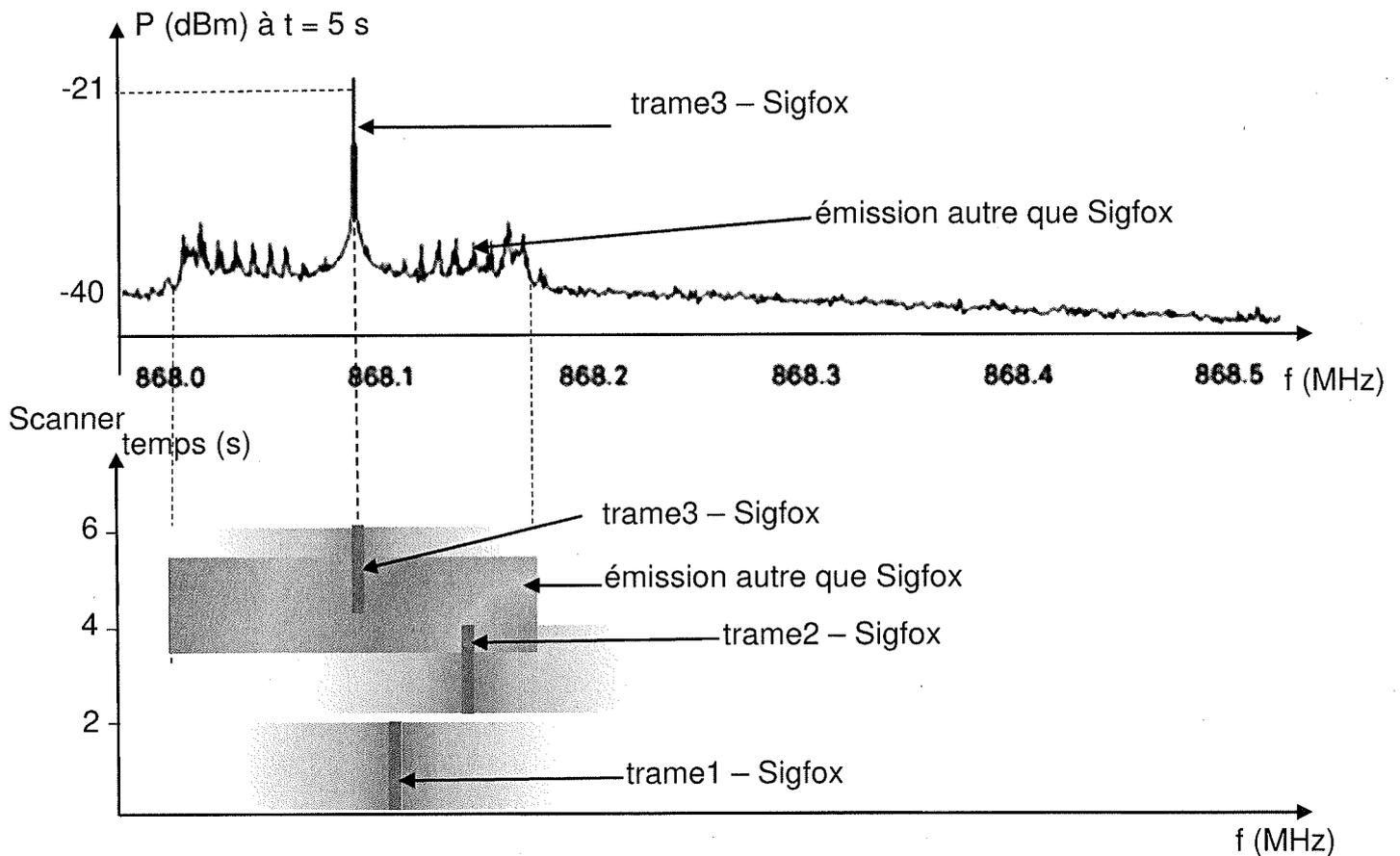


Figure 5 : Spectre en puissance

Q38. Donner deux arguments justifiant que le message Sigfox émis par l'objet sera bien reçu par les stations de base Sigfox malgré la présence d'autres émetteurs.

Session 2018	BTS Systèmes Numériques Option A Informatique et Réseaux Épreuve E4	Page S-SP7 sur 9
18SN4SNIR1	Sciences physiques - Sujet	

Partie C. Détermination de la portée de transmission

Dans cette partie, l'étude de la transmission se fait en espace libre, sans obstacle.

L'émission de messages en UNB associée à une modulation DBPSK permet d'utiliser, pour les stations de base réceptrices, un module récepteur dont le seuil de sensibilité $s_r = -142$ dBm. Le gain de l'antenne réceptrice, $G_{ant.R}$, vaut 3 dBi.

La puissance d'émission P_{TX} en sortie du module TD1208R est réglée à 25 mW.

Rappel : puissance exprimée en dBm :

$$P_{dBm} = 10 \cdot \log\left(\frac{P}{10^{-3}}\right) \quad \text{avec } P \text{ exprimée en watts (W)}$$

Le gain de l'antenne émettrice, noté $G_{ant.E}$, vaut 2 dBi.

L'objectif est de déterminer la distance maximale d_{max} , assurant une liaison correcte.

- Q39.** Calculer la puissance d'émission exprimée en dBm, notée P_{TXdBm} .
- Q40.** Compléter le bilan de liaison côté émission et côté réception sur le document réponses page DR-SP2 en indiquant les valeurs, en dBm, des différentes grandeurs indiquées dans les encadrés et en utilisant la réponse de la question Q39.
- Q41.** Exprimer la perte de puissance en espace libre, notée FSL, en fonction de la PIRE et de la puissance reçue par l'antenne notée $P_{R.ant}$.
- Q42.** Montrer que FSL vaut 136 dB.
- Q43.** En déduire la distance maximale d_{max} permettant une transmission correcte en espace libre à partir d'une construction graphique sur le document réponses page DR-SP3.

Session 2018	BTS Systèmes Numériques Option A Informatique et Réseaux Épreuve E4	Page S-SP8 sur 9
18SN4SNIR1	Sciences physiques - Sujet	

Partie D. Synthèse : validation du réseau Sigfox

Le bureau d'étude a besoin de recevoir 12 messages par jour en temps normal et 4 fois plus en cas de pluies importantes, d'une grande autonomie de fonctionnement et d'un coût d'utilisation faible.

- Q44.** Rédiger une synthèse argumentée, de 10 lignes maximum, montrant que le réseau Sigfox est plus adapté à la collecte des données que le réseau GSM actuel. Votre synthèse portera sur 2 arguments qui seront développés en vous appuyant sur les parties précédentes ou sur le document figure 6.

	SIGFOX UNB	Competition GSM/cellular	Competition Proprietary ISM technology
Density of antennas to cover a city (1M habitants)	3	60	200
Density of antennas to cover 1000 km ² rural area	1 to 3 per 1000 km ²	10 to 20 per 1000 km ²	200 to 500 per 1000 km ²
Power consumption in (μW)	50 μW mono / 1000 μW bidir	5000 μW	150 to 700 μW
Radiated power / Em pollution	Very low	Medium to high	Low
Typical stand-by time (in years) for 2.5 Ah battery	20	0.2	2 to 10
Security level	High	High+	High
Signal penetration into buildings	High	Medium	Medium+
Versatility	Worldwide	Subject to license	Subject to local spectrum allocation
Modem cost estimation (with silicon integration)	Below 1 \$	10 \$	Between 5 and 10 \$
Typical communications cost	< 3 \$	30 \$	No operator available

Figure 6 : comparatif des différents réseaux

Source : <http://www.domotique-info.fr/2014/02/sigfox-technologie-de-rupture-pour-le-marche-du-m2m/>

Session 2018	BTS Systèmes Numériques Option A Informatique et Réseaux Épreuve E4	Page S-SP9 sur 9
18SN4SNIR1	Sciences physiques - Sujet	

Documentation SP1 : Tableau comparatif technologies LP-WAN

LP-WAN : Low Power Wide Area Network

Fonctionnalité	LORA	Sigfox	LTE M (4G)
Modulation	SSC	UNB DBPSK – GFSK ...	OFDMA
Bande passante	500 Hz - 125 kHz	100Hz	1,4 MHz
Débit de données	290 bps à 50 kbps	100 bps	200 kps à 1 Mbps
Message par jour	illimité	140	illimité
Puissance d'émission	14 dBm	14dBm	20 dBm
Bilan de liaison	154 dB	151 dB	146 dB
Portée en zone urbaine	1 km	3 à 10 km	
Portée en zone rurale	10 km	30 km	
Durée de vie de batterie 2 Ah	105 mois	90 mois	19 mois
Efficacité énergétique	très élevée	très élevée	moyenne

Source : www.vertical-m2m.com.fr

<https://fr.slideshare.net/RobertVivancoSalcedo/comprendre-les-technologies-lpwa-sigfox-et-lora>

Session 2018	BTS Systèmes Numériques Option A Informatique et Réseaux Épreuve E4	Page DOC16 sur 16
18SN4SNIR1	Documentation	

DOCUMENT RÉPONSES – Sciences Physiques

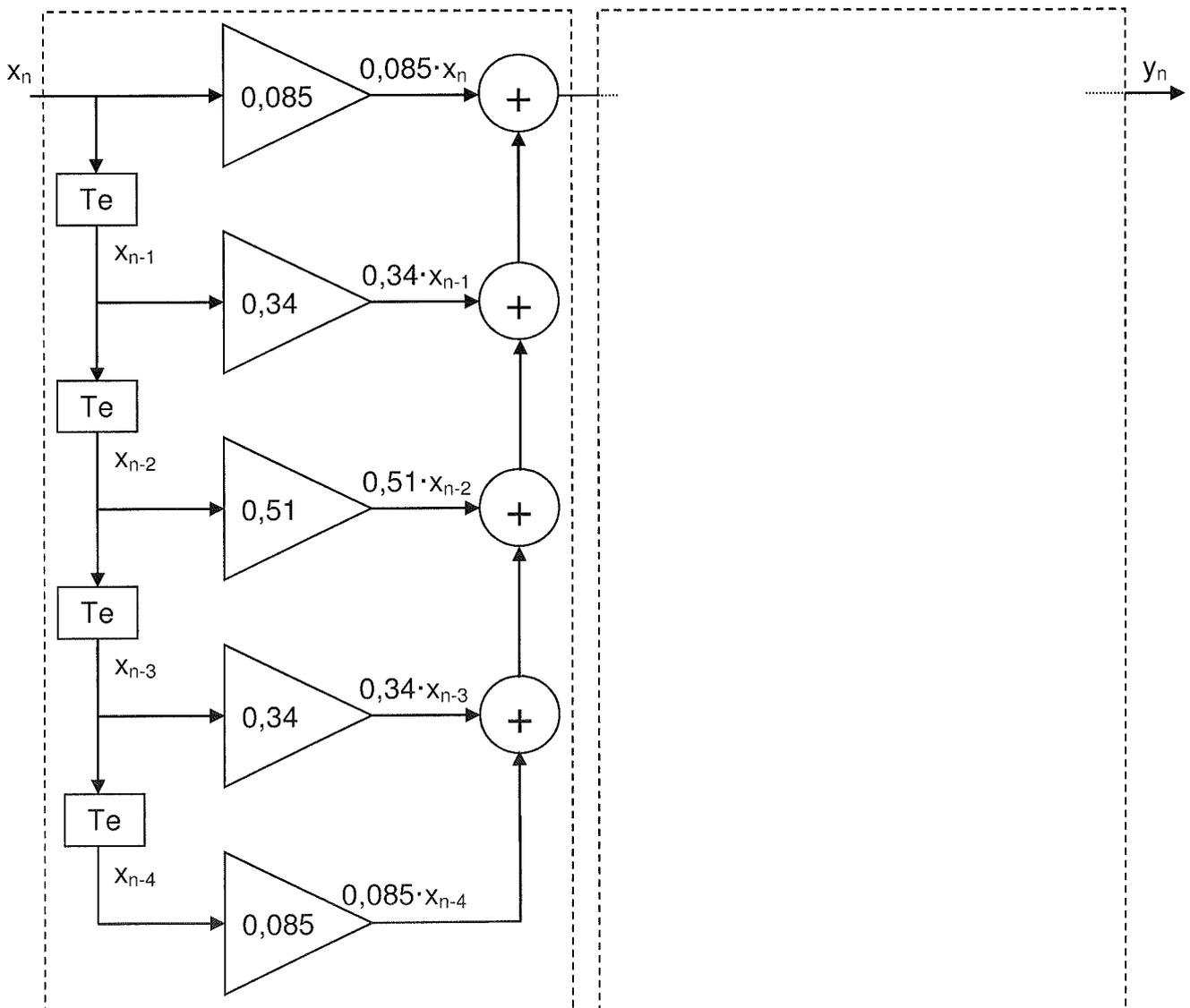
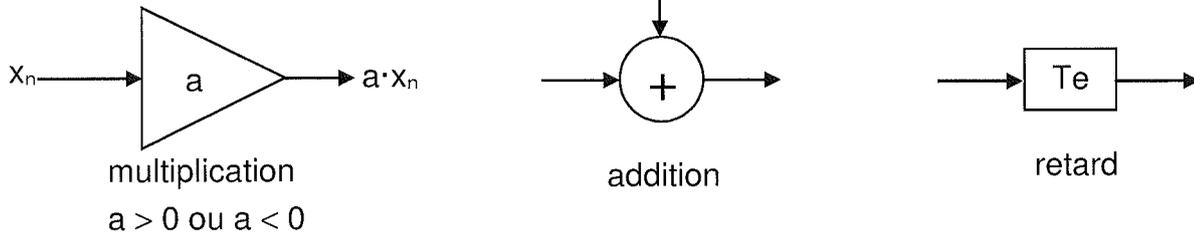
À RENDRE AVEC LA COPIE

Document réponses à la question Q30

d_k	0	0	0	1	1	1	0	1
Φ_k (rad)	0							

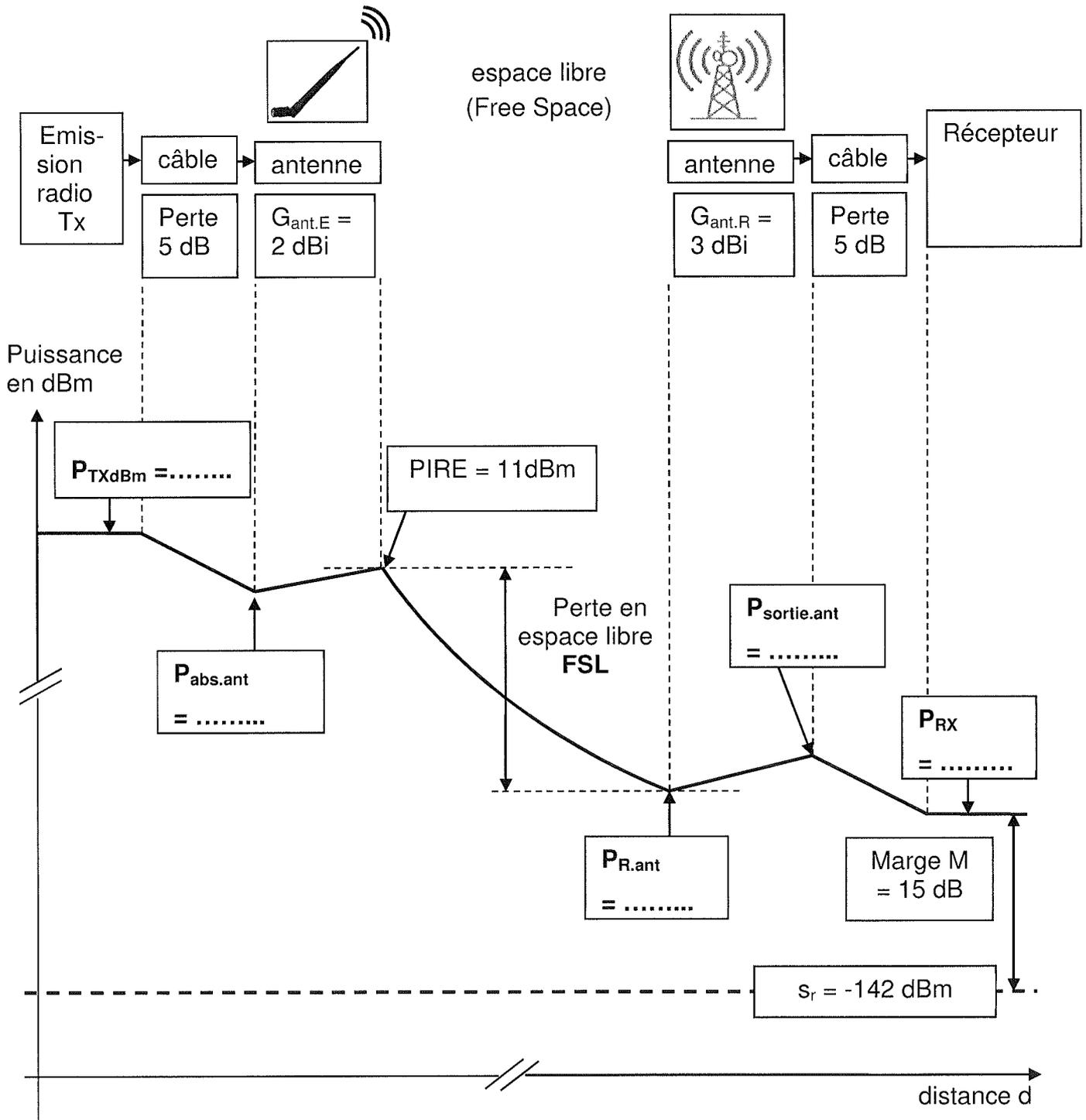
Document réponses à la question Q36

Symboles utilisés



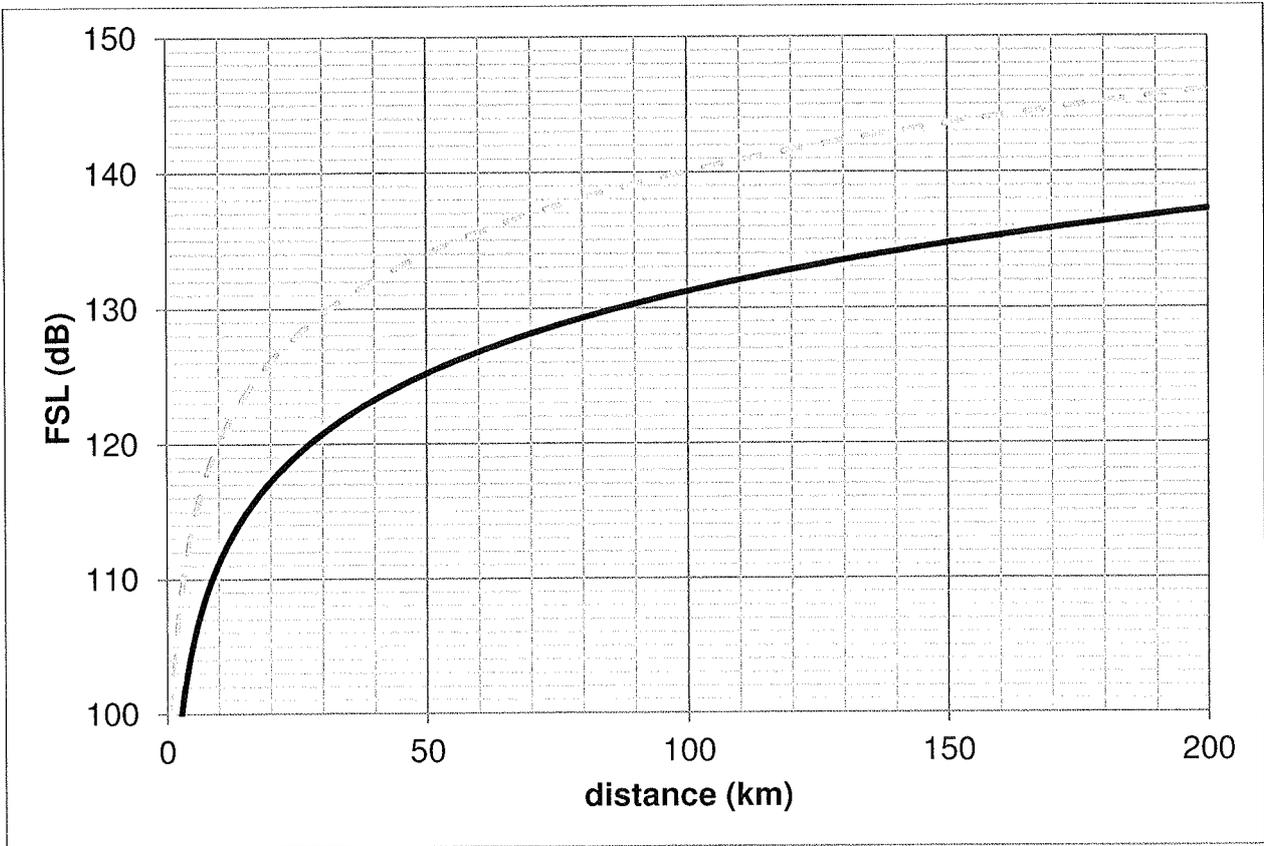
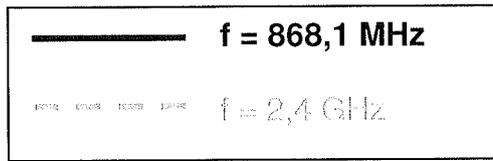
Session 2018	BTS Systèmes Numériques Option A Informatique et Réseaux Épreuve E4	Page DR-SP1 sur 3
18SN4SNIR1	Sciences Physiques – Document Réponses	

Document réponses à la question Q40
Bilan de liaison en espace libre



P_{TXdBm} : puissance d'émission	$G_{ant R}$: gain de l'antenne réceptrice
$P_{abs.ant}$: puissance absorbée par l'antenne émettrice	$P_{R ant}$: puissance reçue par l'antenne réceptrice
$G_{ant E}$: gain de l'antenne émettrice	$P_{sortie ant}$: puissance de sortie de l'antenne réceptrice
	P_{RX} : puissance reçue par la base

Document réponses à la question Q43
 FSL (dB) en fonction de la distance d (km)



Session 2018	BTS Systèmes Numériques Option A Informatique et Réseaux Épreuve E4	Page DR-SP3 sur 3
18SN4SNIR1	Sciences Physiques – Document Réponses	