

- colorimétrie
- modulation num.
- bilan de liaisons

SUJET

Option B Électronique et Communications

Partie 2 Sciences physiques

Durée 2 h coefficient 2

Ce sujet est composé de trois parties indépendantes.

Partie A. Choix des lampes

Problématique : remplacer les lampes des lampadaires pour un meilleur confort visuel.

Le remplacement des lampes d'éclairage public doit se faire en tenant compte de leur indice de rendu des couleurs (IRC). L'IRC est un indice qui indique la faculté d'un éclairage donné à se rapprocher de la lumière du soleil et de permettre de bien distinguer les couleurs des objets éclairés, c'est à dire la capacité d'une source de lumière à restituer les différentes couleurs du spectre visible sans en modifier les teintes. L'IRC maximum correspond à une lumière ayant le même spectre que celui de la lumière solaire. Cet IRC vaut 100.

On cherche à justifier le remplacement des lampes à vapeur de sodium sous haute pression (HPS) par des lampes à LED.

On donne figure 1 le diagramme énergétique de l'atome de sodium.

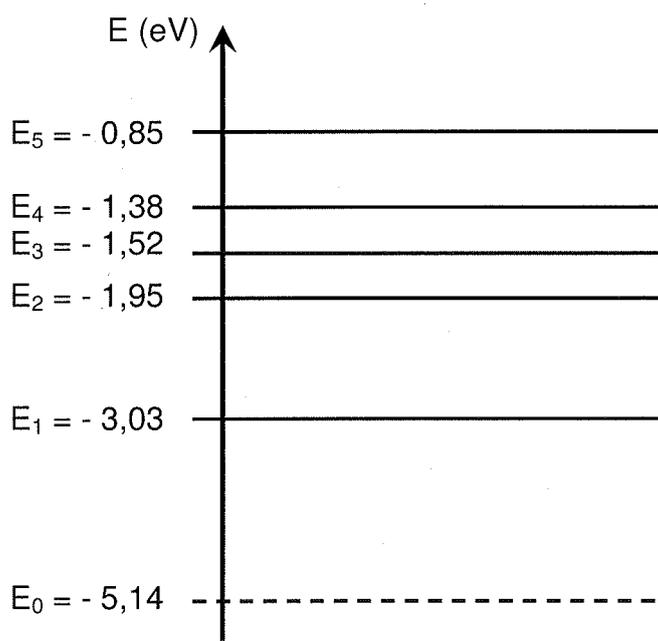


Figure 1

Session 2018	BTS Systèmes Numériques Option B Électronique et Communications Épreuve E4	Page S-SP1 sur 6
18SN4SNEC1	Sciences physiques - Sujet	

On rappelle que : $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ joule}$

Q36. Déterminer la variation d'énergie ΔE de l'atome de sodium entre les niveaux E_1 et E_0 . Elle est définie par $\Delta E = E_1 - E_0$. Elle sera exprimée en eV, puis en J.

Lors de la variation de niveau d'énergie ΔE , la lampe de sodium émet des photons de longueur d'onde notée λ .

La relation entre la variation de niveau d'énergie et la longueur d'onde est donnée par :

$$\Delta E = \frac{h \cdot c}{\lambda} \text{ avec } h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-1}, c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \text{ et } \Delta E \text{ en J.}$$

Q37. Montrer que la valeur de la longueur d'onde λ correspondant à un photon d'énergie ΔE , vaut 589 nm.

On donne **Figure 2** les longueurs d'ondes associées aux couleurs de la lumière visible.

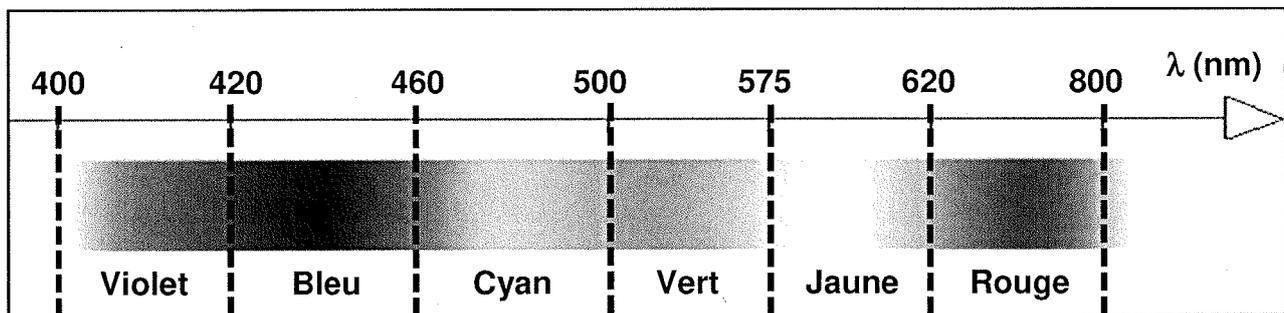


Figure 2

Q38. Indiquer la couleur dominante émise par l'atome de sodium.

Le point *W* du blanc de référence est placé sur le document réponses page DR-SP1.

Une analyse plus poussée des lampes HPS, donne les coordonnées 0,53 pour *x* et 0,42 pour *y* du point *H*, dans le diagramme de colorimétrie CIE 1931.

Q39. Placer le point *H* sur le diagramme CIE du document réponses page DR-SP1 puis le point *S* correspondant à l'intersection de la demi-droite [WL) avec le contour défini par les couleurs spectrales pures.

Le taux de saturation des lampes HPS, noté T_{sat} , est défini comme le rapport de la longueur *WH* sur la longueur *WS*.

Q40. Calculer le taux de saturation T_{sat} et indiquer sa valeur en pourcentage sur le document réponses page DR-SP1.

Session 2018	BTS Systèmes Numériques Option B Électronique et Communications Épreuve E4	Page S-SP2 sur 6
18SN4SNEC1	Sciences physiques - Sujet	

Pour avoir un IRC satisfaisant pour une source donnée, il faut que toutes les couleurs d'une mire donnée par la norme FD-X08-018 soient vues sous des teintes différentes. Deux points A et B, caractérisant chacun un élément de cette mire, ont été placés sur le diagramme du document réponses DR-SP1. Le point L des lampes à LED est placé sur le document réponses page DR-SP1.

- Q41.** Montrer, en vous aidant du document réponses page DR-SP1 et de la figure 2, que l'élément caractérisé par le point A de la mire, éclairée par la LED (point L), prend la teinte verte. Préciser alors la longueur d'onde associée, notée λ_{ALed} .
On rappelle que la longueur d'onde est déterminée par l'intersection de la droite reliant les points A et L avec le contour des couleurs spectrales pures.

- Q42.** Expliquer, en faisant apparaître les constructions sur le document réponses page DR-SP1, si les points A et B de la mire sont vus sous des teintes différentes lorsqu'ils sont éclairés par la lampe HPS (point H) puis lorsqu'ils sont éclairés par la LED.

- Q43.** Justifier le remplacement des lampes HPS par des lampes à LED.

Session 2018	BTS Systèmes Numériques Option B Électronique et Communications Épreuve E4	Page S-SP3 sur 6
18SN4SNEC1	Sciences physiques - Sujet	

Partie B. Transmission radio par modulation LoRa

Problématique : comparer les modulations LoRa et FSK.

La communication entre les passerelles et les lampadaires autonomes se fait par une liaison hertzienne avec un protocole de liaison LoRa (Long Range).

Pour la modulation LoRa, on transfère les informations par une variation linéaire de fréquence entre deux valeurs autour de la porteuse.

Nous allons étudier certaines caractéristiques de la modulation LoRa et les comparer à une transmission en modulation FSK (frequency shift keying).

On donne la densité spectrale de puissance de l'émission LoRa sur le document réponses page DR-SP2.

Q44. Relever la fréquence centrale du spectre correspondant à la fréquence f_p de la porteuse puis indiquer sa valeur arrondie à six chiffres sur le document réponses page DR-SP2.

Q45. Mesurer l'encombrement spectral BW_{LORA} et indiquer sa valeur en kHz sur le document réponses page DR-SP2.

On définit le débit utile, exprimé en bits/s, $D = CR \cdot SF \cdot BW_{LORA} / 2^{SF}$ avec :

- *le facteur d'étalement, $SF = 8$.*
- *le rendement du correcteur d'erreur $CR = 4/8$.*
- *l'encombrement spectral BW_{LoRa} exprimé en Hz.*

Q46. Calculer le débit utile D.

Q47. L'encombrement spectral noté BW_{FSK} de la modulation FSK est défini par $BW_{FSK} = 2(D + \Delta f)$ avec $\Delta f = 62,5$ kHz. Calculer BW_{FSK} pour ce même débit, puis le comparer avec l'encombrement spectral BW_{LoRa} de la modulation LoRa.

Session 2018	BTS Systèmes Numériques Option B Électronique et Communications Épreuve E4	Page S-SP4 sur 6
18SN4SNEC1	Sciences physiques - Sujet	

Le technicien désire enfin déterminer la sensibilité S_{LoRa} de la modulation LoRa et la comparer à la sensibilité S_{FSK} de la modulation FSK.

La sensibilité d'un appareil est la puissance reçue minimale pour un bon décodage.

On donne sur le document réponses page DR-SP3 les courbes de sensibilité des deux modulations en fonction du débit D en bits/s

Q48. Déterminer graphiquement, pour un débit D de 1 875 bits/s, les sensibilités S_{LoRa} et S_{FSK} des modulations LoRa et FSK puis indiquer leurs valeurs sur le document réponses page DR-SP3.

On rappelle que le rapport signal sur bruit, exprimé en dB, est $(S/N) = S_{dBm} - N_{dBm}$

Q49. Déterminer graphiquement les rapports signal sur bruit $(S/N)_{LoRa}$ et $(S/N)_{FSK}$ des liaisons LoRa et FSK pour le débit de D , puis indiquer leurs valeurs sur le document réponses page DR-SP3.

Q50. Expliquer la particularité de la modulation LoRa vis-à-vis du rapport signal sur bruit.

Session 2018	BTS Systèmes Numériques Option B Électronique et Communications Épreuve E4	Page S-SP5 sur 6
18SN4SNEC1	Sciences physiques - Sujet	

Partie C. Bilan de liaison des modulations LoRa

Problématique : vérification des performances annoncées d'une modulation LoRa

La portée d'une modulation FSK est d'un kilomètre maximum.

Un technicien cherche à déterminer la portée des modules utilisant la modulation LoRa de fréquence porteuse f_p , valant 869,525 MHz. Il dispose d'antennes adaptées pour le Wifi dont le gain, exprimé en dBi, est défini par $G_i = -185,6 + 20 \cdot \log(f)$, avec f en Hz.

Q51. Calculer le gain d'antenne G_i à la fréquence d'utilisation f_p

Le technicien utilise un module de puissance d'émission P_e qui vaut 20 dBm.

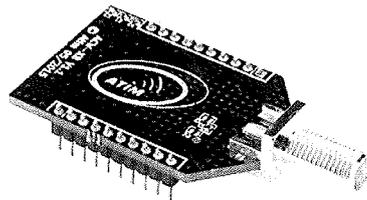
Le bilan de liaison et les gains d'antenne, pour une distance de propagation d de 100 m, sont donnés sur le document réponses page DR-SP4.

En milieu urbain, l'équation de propagation donne le gain dû à la propagation $G_{propa} = -40 \cdot \log(d) - 4$ avec d distance en mètres.

Q52. Calculer le gain noté G_{propa} dû à la propagation, la puissance captée par l'antenne de réception, notée $P_{captée}$, et la puissance reçue, notée $P_{reçue}$, en vous aidant du bilan de liaison puis indiquer leurs valeurs respectives sur le document réponses page DR-SP4.

Un extrait de la documentation du module LoRa utilisé est donné ci-dessous :

- Fréquences : 865-870 MHz
- Débit RF : de 180 à 10 000 bps
- Modulation : CSS (LORA)
- Puissance de sortie 14/20 dBm
- Sensibilité : -142 dBm
- Liaison radio : 161 dB
- Portée jusqu'à 25 km



La sensibilité d'un récepteur correspond à la puissance minimale reçue assurant une bonne réception. Elle est notée $P_{reçue \text{ min}}$.

Q53. Donner la valeur de la puissance minimale reçue $P_{reçue \text{ min}}$.

Q54. Déterminer la portée théorique, notée d_{max} , de la liaison LoRa.

La portée de la liaison LoRa est de l'ordre de 4 km.

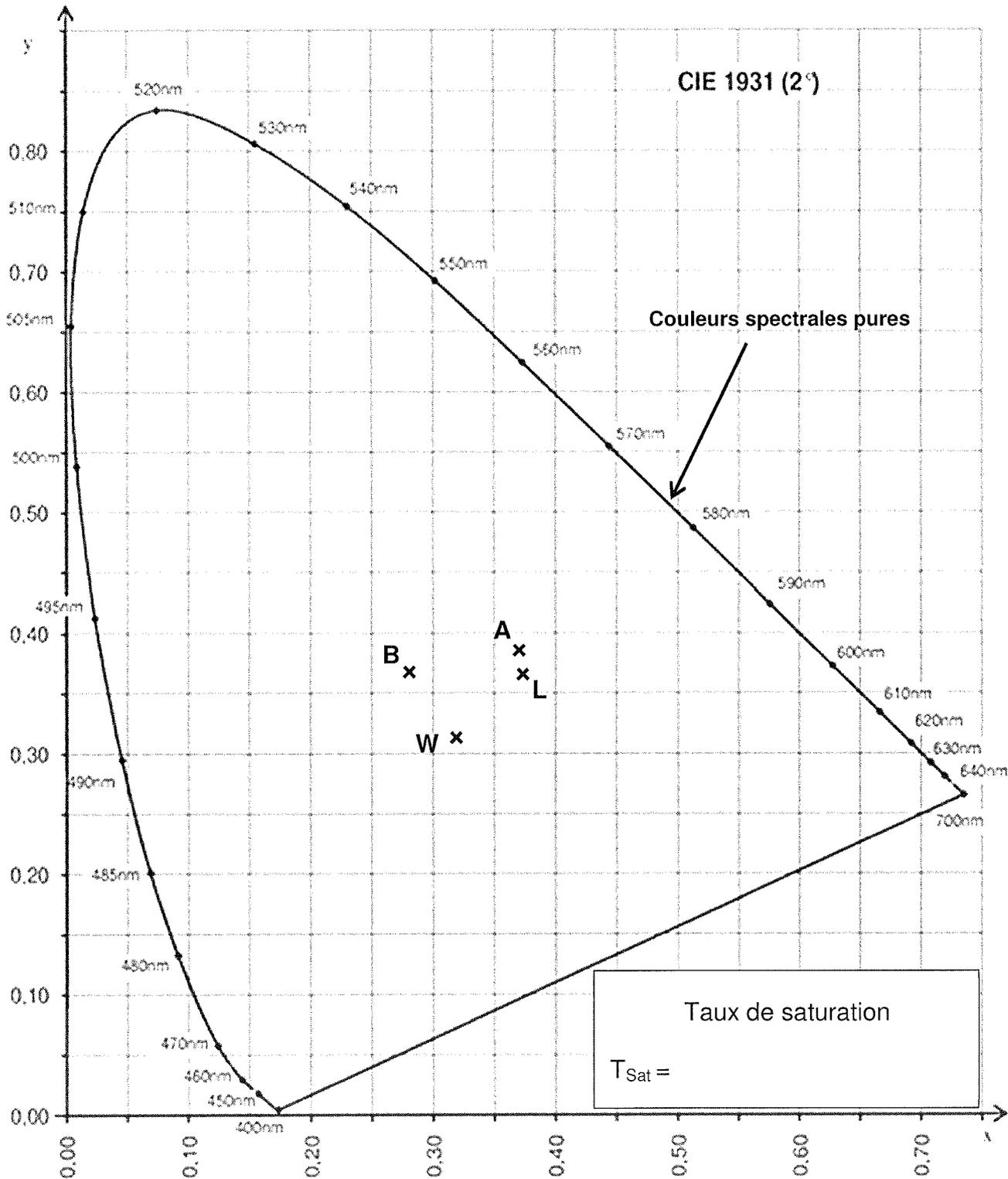
Q55. Comparer la portée théorique à la portée d'une liaison FSK.

Session 2018	BTS Systèmes Numériques Option B Électronique et Communications Épreuve E4	Page S-SP6 sur 6
18SN4SNEC1	Sciences physiques - Sujet	

DOCUMENT RÉPONSES - Sciences Physiques

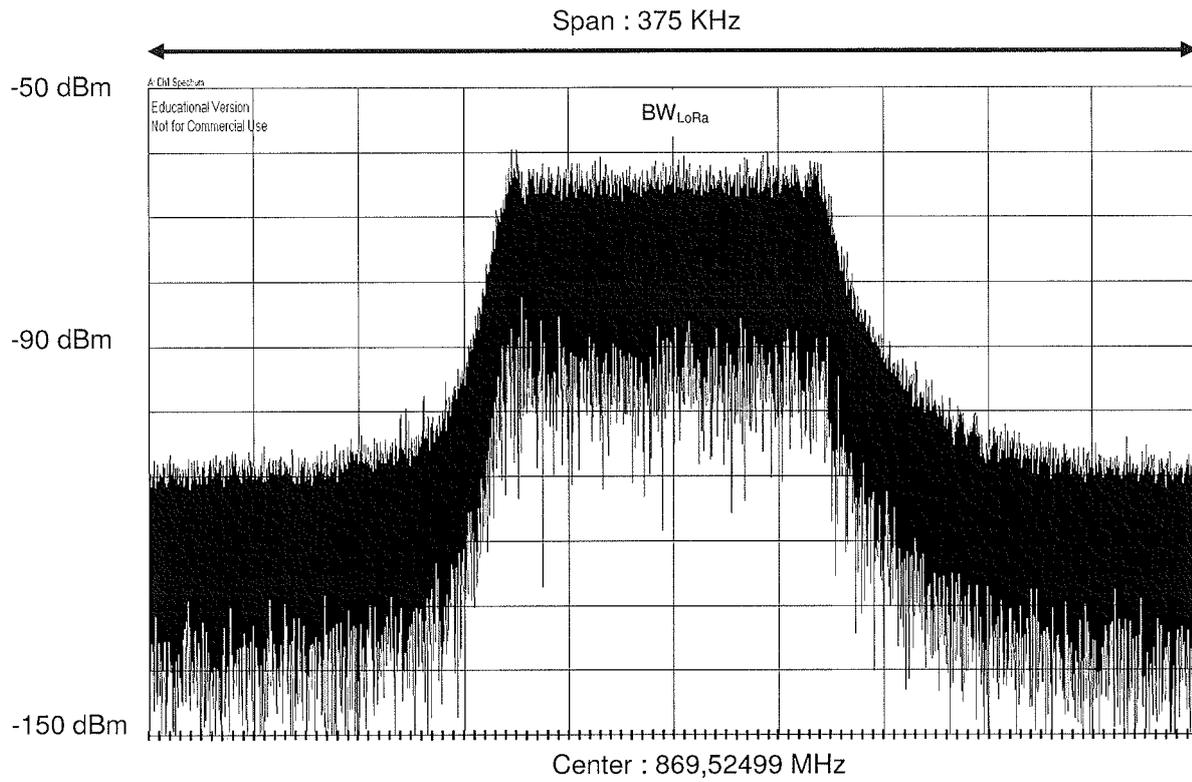
À RENDRE AVEC LA COPIE

Réponses aux questions Q39 à Q42



Session 2018	BTS Systèmes Numériques Option B Électronique et Communications Épreuve E4	Page DR-SP1 sur 4
18SN4SNEC1	Sciences Physiques - Document réponses	

Réponses aux questions Q44 et Q45



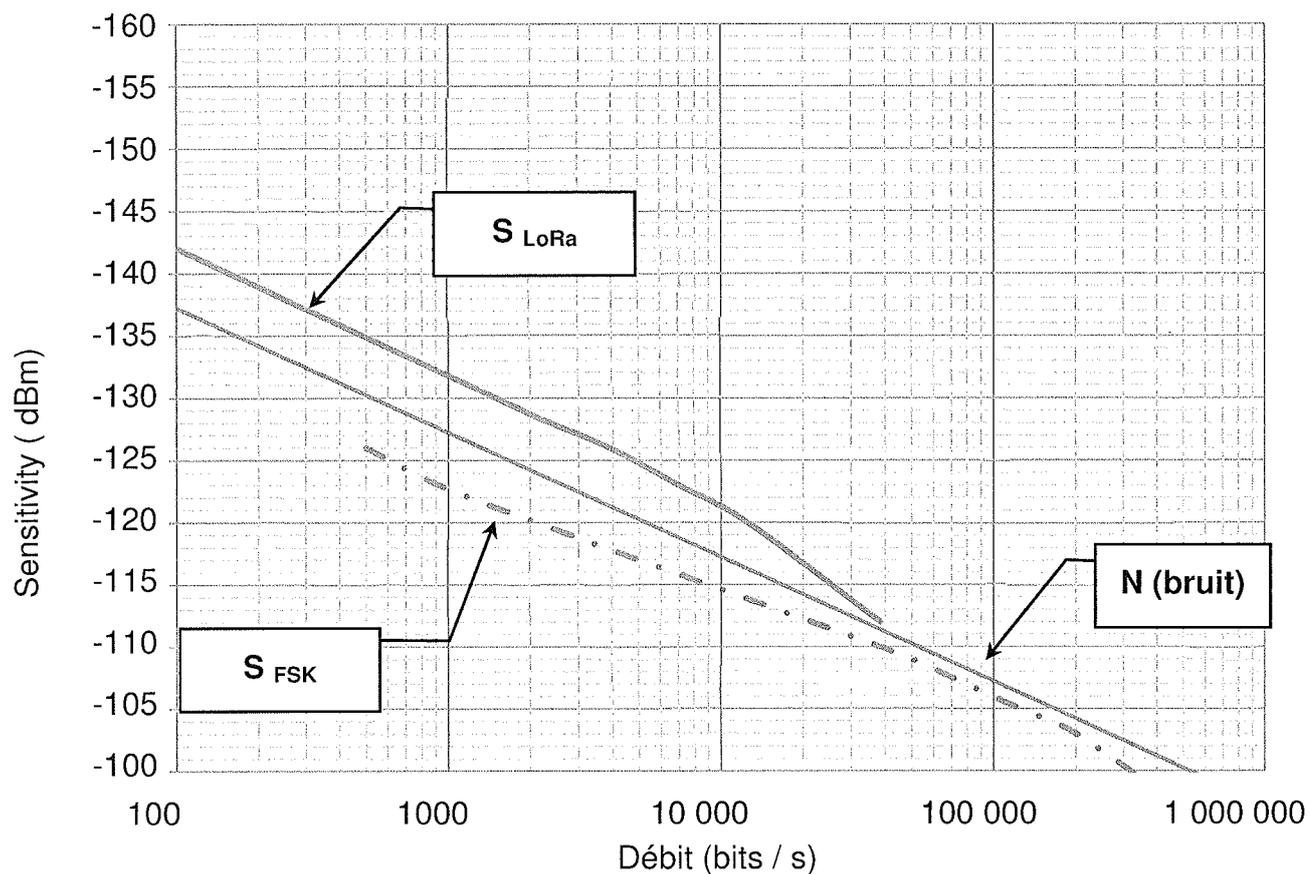
$f_p =$

$BW_{LORA} =$

Session 2018	BTS Systèmes Numériques Option B Électronique et Communications Épreuve E4	Page DR-SP2 sur 4
18SN4SNEC1	Sciences Physiques - Document réponses	

Réponses aux questions Q48 et Q49

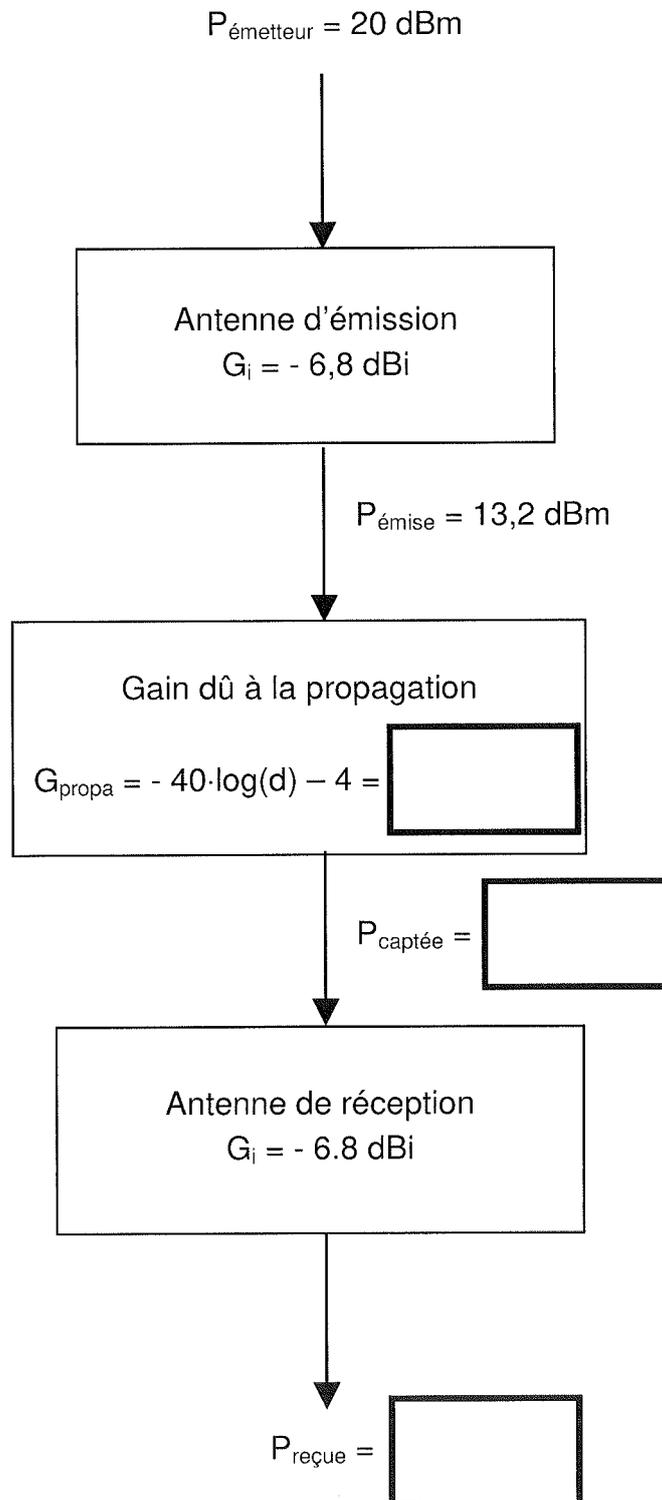
LoRa vs FSK sensitivity Comparaison



	Modulation LoRa	Modulation FSK
Sensibilité (dBm)		
Rapport signal sur bruit S/N (dB)		

Réponse à la question Q52

Bilan de Liaison pour $d = 100$ m



Session 2018	BTS Systèmes Numériques Option B Électronique et Communications Épreuve E4	Page DR-SP4 sur 4
18SN4SNEC1	Sciences Physiques - Document réponses	