

SUJET
Option B Électronique et Réseaux
Domaine de la physique
Durée 2 h

Le sujet est composé de 3 parties indépendantes :

Partie 3 : détection d'un véhicule par boucle inductive ;

Partie 4 : bilan de liaison ;

Partie 5 : transmission par modulation LoRa.

BTS CYBERSÉCURITÉ, INFORMATIQUE ET RÉSEAUX, ÉLECTRONIQUE Option électronique et réseaux		Session 2025
Étude et conception de produits électroniques – E4	Code : 25CIELBEC	Page S-Ph 1 sur 10

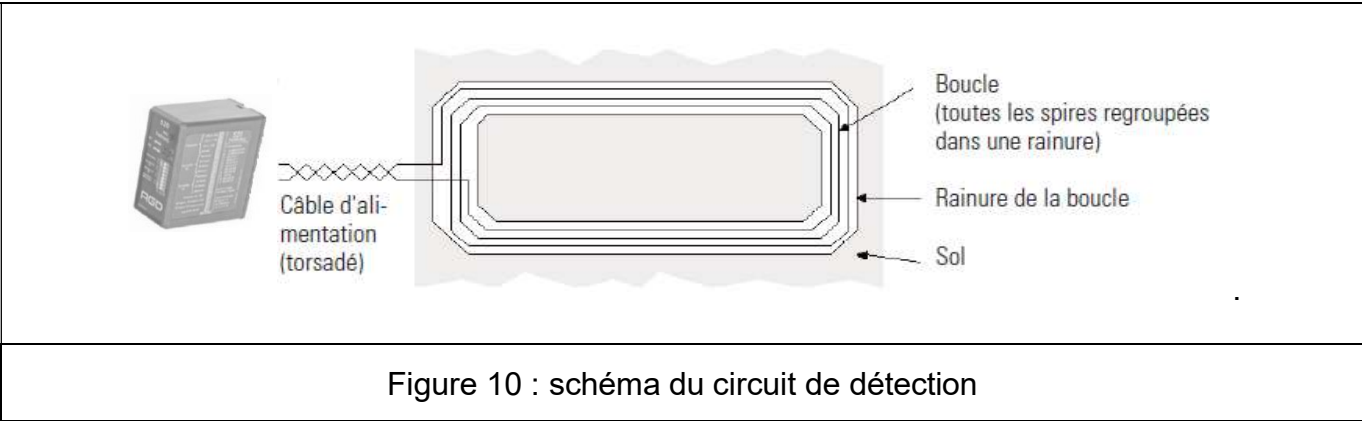
Partie 3 – Détection d'un véhicule par boucle inductive

L'objectif de cette partie est de montrer que les valeurs d'inductances et de fréquences sont cohérentes avec les caractéristiques du détecteur.

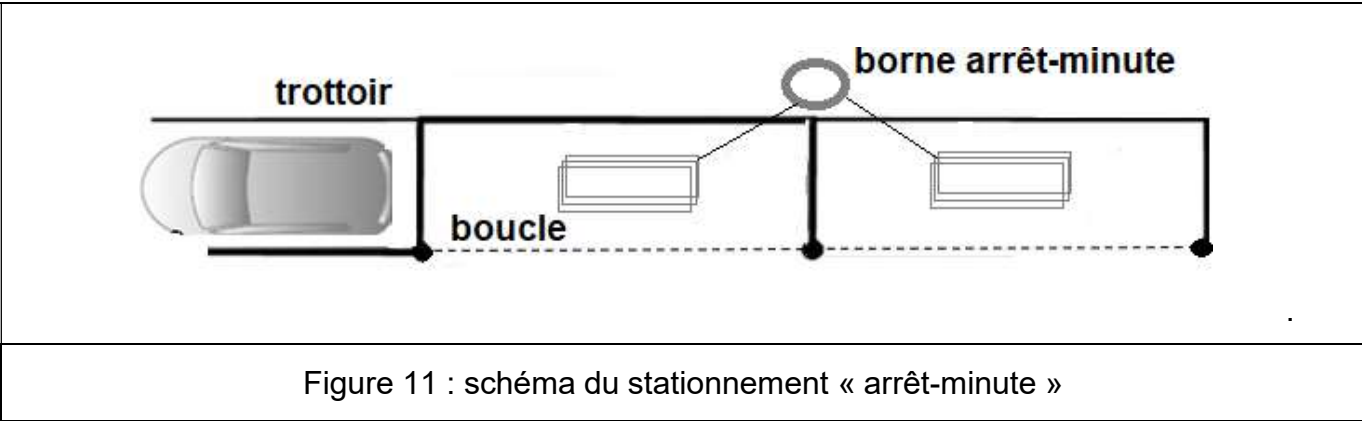
Pour cela, les caractéristiques techniques de la boucle magnétique ainsi que les caractéristiques du signal généré par le détecteur sont mises à disposition au fil des questions de cette partie.

La borne « arrêt-minute » est équipée d'un détecteur automatique de véhicule. Il comporte une boucle électromagnétique enterrée dans la chaussée reliée par un câble torsadé de jonction jusqu'au détecteur dont le schéma est représenté figure 10.

Une boucle est composée de plusieurs spires, une spire étant un enroulement d'un tour complet de la boucle de détection.

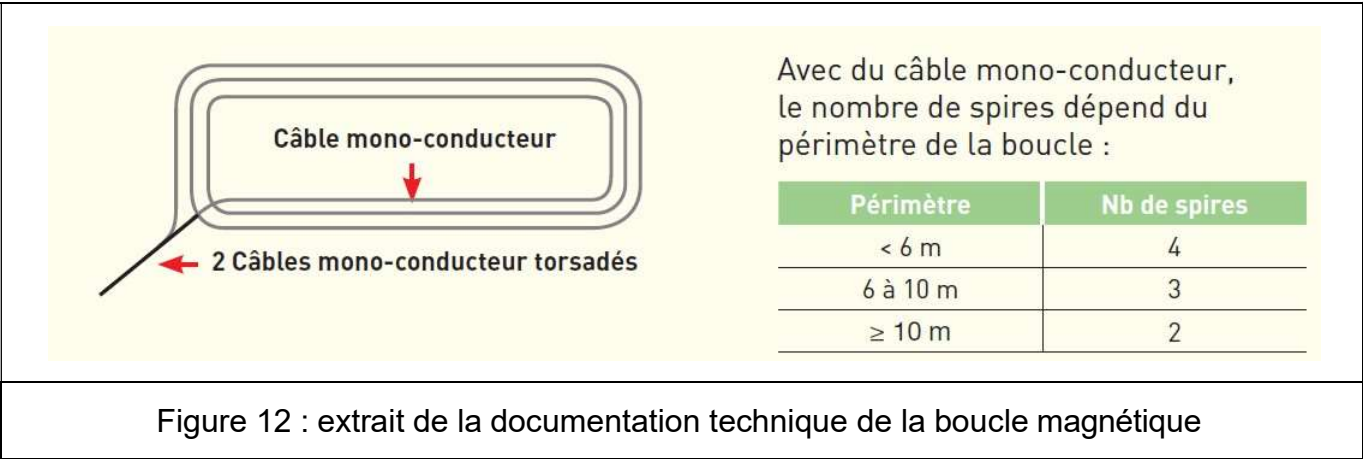


Les dimensions d'une place standard de stationnement sont de 5,0 m de longueur et 2,3 m de largeur. La boucle de détection, en câble mono-conducteur, de forme rectangulaire avec 2,0 m de longueur et 1,0 m de largeur, est positionnée au centre de la place de stationnement selon le schéma Figure 11.



Q47. Calculer le périmètre P d'une spire de la boucle.

Le nombre de spires est relié au périmètre de la boucle comme indiqué sur la figure 12.



Q48. Justifier que le nombre N de spires est de 3 d’après la Figure 12.

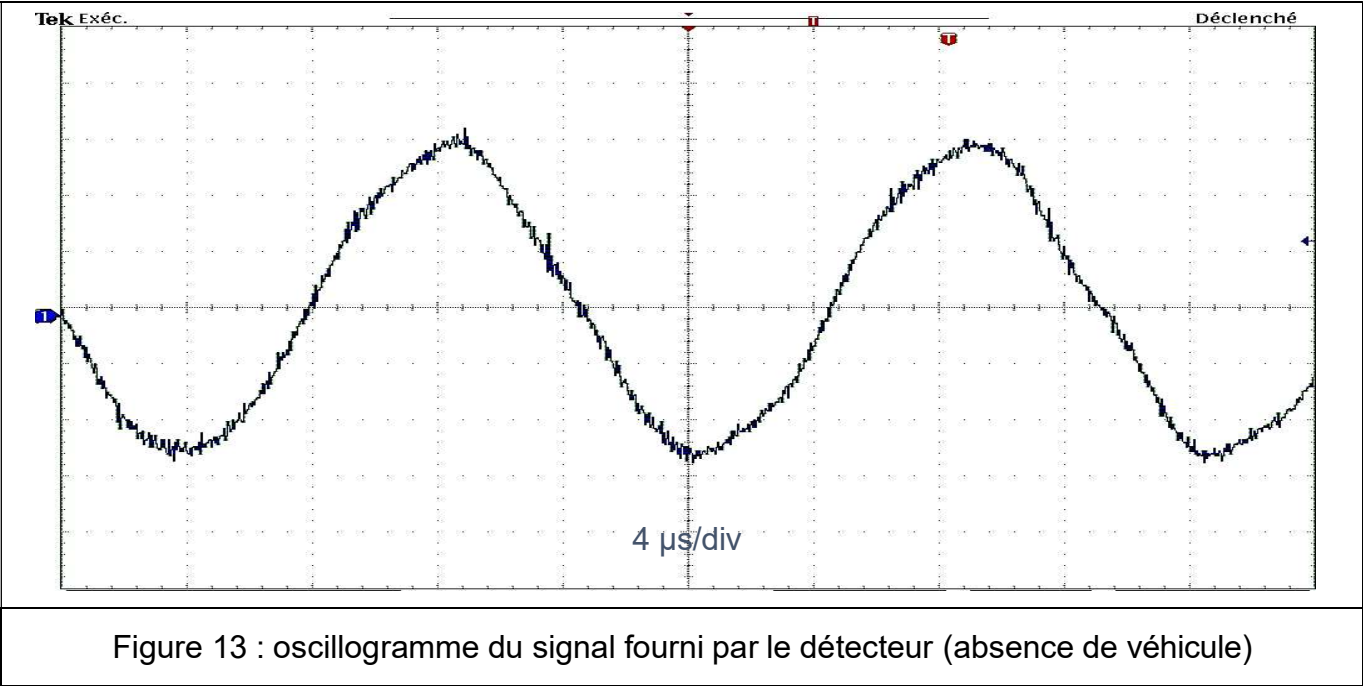
La formule permettant d’estimer l’inductance L, exprimée en μH , de la boucle magnétique, en l’absence de véhicule, s’exprime comme suit :

$$L = P \times (N^2 + N)$$

avec P (en m) le périmètre de la boucle et N le nombre de spires.

Q49. Calculer la valeur de l’inductance L de la boucle en l’absence de véhicule.

En l’absence ou en présence de véhicule, le détecteur génère un signal sinusoïdal. En l’absence de véhicule sur la boucle, la sortie du détecteur fournit le signal figure 13.



Q50. Mesurer la période T du signal grâce à l'oscillogramme de la Figure 13.

Q51. Calculer la fréquence f_{exp} correspondante en précisant l'unité.

Le détecteur intègre un condensateur de capacité C associé à une boucle de détection d'inductance L_B , ce qui permet de générer le signal sinusoïdal de fréquence :

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_B C}}$$

avec :

- f : la fréquence du signal en hertz ;
- L_B : l'inductance de la boucle en henrys ;
- C : la capacité du condensateur C = 100 nF (invariable).

Q52. Déterminer la fréquence f du signal généré par le détecteur sachant que L_B vaut 72,00 μH en l'absence de véhicule. **Vérifier** la cohérence avec la question précédente.

Un véhicule qui se gare sur la boucle entre dans le champ magnétique créé par le courant sinusoïdal parcourant la boucle. Les lignes de champ sont déviées et l'inductance de la boucle diminue.

Q53. Identifier le paramètre du signal produit par le détecteur qui varie lorsqu'un véhicule se gare.

Q54. Analyser le sens de variation de ce paramètre en présence d'un véhicule.

On appelle « sensibilité de la boucle » la variation relative d'inductance (en valeur absolue) due à la présence d'une cible au-dessus d'elle, comme décrit figure 14. Dès qu'une variation relative d'inductance est détectée par un changement de fréquence suffisant du signal, une information de présence du véhicule est envoyée à la passerelle.

 La prise en compte d'une cible est liée à l'empreinte métallique de celle-ci. La sensibilité est exprimée par le ratio $\delta L/L$ avec : • L : inductance de la boucle exprimée en Henry (H) ; • δL : variation de l'inductance provoquée par la cible Exemple non contractuel des cibles détectées selon leur empreinte métallique et la sensibilité sélectionnée :				
				
$\delta L/L = 0,02\%$	✓	✓	✓	✓
$\delta L/L = 0,05\%$		✓	✓	✓
$\delta L/L = 0,10\%$			✓	✓
$\delta L/L = 0,50\%$				✓

Figure 14 : sensibilité de la boucle

BTS CYBERSÉCURITÉ, INFORMATIQUE ET RÉSEAUX, ÉLECTRONIQUE Option électronique et réseaux		Session 2025
Étude et conception de produits électroniques – E4	Code : 25CIELBECF	Page S-Ph 4 sur 10

- Q55. Indiquer**, d'après la documentation de la Figure 14, le type de véhicule non détecté pour une sensibilité de la boucle de 0,05 %.
- Q56. Calculer** la variation de l'inductance (en valeur absolue) δL provoquée par la présence d'un véhicule pour une sensibilité de la boucle de 0,05 % et une inductance de boucle L de 72,00 μH .
- Q57. Déterminer**, avec 4 chiffres significatifs, la valeur L_{occ} de l'inductance de la boucle lorsque le véhicule est présent.
- Q58. En déduire** la fréquence maximale f_{MAX} que doit accepter le détecteur.

La figure 15 présente les caractéristiques du détecteur de boucle.

Plage de fonctionnement	18 kHz à 130 kHz	Fonction de l'inductance de la boucle
Charge admissible	20 μH à 2 mH	Plage d'inductance de la boucle
Temps de réponse	100 ms $\pm$ 2 ms	Réglable à 2 secondes sur modèle 510
Temps de maintien mini	100 ms $\pm$ 2 ms	Durée minimum d'activation du relai en mode PRESENCE
Temps d'oubli limité	90 mn maxi pour une voiture	Relation non linéaire avec l'intensité du signal. Dépend de la surface de la boucle recouverte par le véhicule immobile et de l'empreinte métallique de celui-ci
Durée de l'impulsion (mode IMPULSION)	160 ms $\pm$ 4 ms 2 s $\pm$ 4 ms	Selon modèle
Sensibilité ($\delta L/L$)	Réglable à 0,02%, 0.05%, 0.1% ou 0.5%	Tolérance : ± 180 ppm pour $\delta L/L=0,02\%$

Figure 15 : caractéristiques du détecteur de boucle

- Q59. Indiquer** la plage de l'inductance et la plage de fréquences du détecteur en utilisant la documentation de la figure 15.
- Q60. Conclure** sur la validation du système de détection pour toutes les valeurs calculées ou mesurées, compte tenu des variations de l'inductance L et de la fréquence f lors de la présence d'un véhicule.

Partie 4 – Bilan de liaison

L'objectif de cette partie est de valider que le fonctionnement de la transmission est satisfaisant pour une distance maximale de 1 km.

Pour cela, les caractéristiques des antennes sont mises à disposition au fil des questions de cette partie.

Chaque borne « arrêt-minute » doit être équipée d'un module STM32WL5CC associé à une antenne LPAB-868-2SP qui émet vers plusieurs passerelles LoRa-IP logées en ville dans des armoires extérieures de feux de carrefour. La passerelle FlexGate FG264 associée à l'antenne PROANT-868-N qui recevra le meilleur signal dialoguera avec le serveur central.

Le cahier des charges, qui cadre la transmission optimale entre les bornes et les passerelles, impose que la distance maximale, en milieu urbain, soit de 1000 m

Le module émetteur émet un signal de puissance noté P_e d'une puissance de 25 mW autour de la fréquence de 868 MHz imposée.

Q61. Calculer le niveau de puissance en dBm noté P_e émis par le module émetteur. **Arrondir** la valeur à l'unité et **reporter** celle-ci sur le document réponses DR-Ph 1.

La figure 16 présente les caractéristiques de l'antenne d'émission.

Electrical Data	
Frequency Range (MHz)	868 MHz
Peak Gain †	2dBi
Typical VSWR*	<2.5:1
Polarisation	Vertical
Pattern	Omni-directional
Impedance	50Ω
Max input power (W)	20

Figure 16 : caractéristiques électriques de l'antenne émettrice LPAB-868-2SP

Q62. Relever sur la documentation de la figure 16 le gain G_e de l'antenne émettrice et **reporter** celui-ci sur le document réponses DR-Ph 1.

Q63. Montrer que la PIRE est de 16 dBm.

BTS CYBERSÉCURITÉ, INFORMATIQUE ET RÉSEAUX, ÉLECTRONIQUE Option électronique et réseaux		Session 2025
Étude et conception de produits électroniques – E4	Code : 25CIELBECF	Page S-Ph 6 sur 10

Q64. Déterminer, à l'aide d'une construction graphique, l'angle θ d'ouverture à -3 dB du lobe droit de l'antenne émettrice sur le document réponses DR-Ph 2.

Le diagramme de rayonnement présente deux lobes, ce qui fait que l'angle d'ouverture total est deux fois supérieur à celui déterminé dans la question précédente.

Q65. Justifier l'intérêt d'une antenne avec un angle d'ouverture total large pour le système étudié.

L'antenne choisie a une impédance caractéristique de 50Ω .

Q66. Expliquer pourquoi l'impédance caractéristique du câble arrivant à l'antenne émettrice doit être de 50Ω .

La figure 17 présente les caractéristiques de l'antenne de réception.

SPECIFICATIONS ELECTRIQUES	
Fréquences	860-902MHz
Gain	8dBi (@868MHz)
VSWR	1.8 (@868MHz)
Impédance	50
Polarisation	Verticale
Rayonnement H	360°
Rayonnement V	15°

Figure 17 : spécifications électriques de l'antenne réceptrice PROANT-868-N

Q67. Vérifier, en utilisant la documentation de la figure 17, que la bande de fréquences reçues par l'antenne réceptrice est compatible avec la fréquence émise.

Q68. Relever sur la documentation de la figure 17 le gain de l'antenne réceptrice G_r et **reporter** celui-ci sur le document réponses DR-Ph 1.

On souhaite un débit binaire de 293 bps.

Q69. Mesurer, à l'aide d'une construction graphique, la sensibilité S du récepteur sur le document réponses DR-Ph 3.

La marge qui assure une transmission correcte est de 30 dB.

Q70. En déduire la puissance P_r , exprimée en dBm, que doit recevoir le récepteur et **reporter** celle-ci sur le document réponses DR-Ph 1.

BTS CYBERSÉCURITÉ, INFORMATIQUE ET RÉSEAUX, ÉLECTRONIQUE Option électronique et réseaux		Session 2025
Étude et conception de produits électroniques – E4	Code : 25CIELBECF	Page S-Ph 7 sur 10

La formule de Friis permet de calculer le niveau de puissance reçue P_r exprimé en dB avec la formule :

$$P_r = \text{PIRE} - \text{Att} + G_r$$

avec

- PIRE : la puissance rayonnée équivalente en dBm ;
- G_r : le gain de l'antenne réceptrice en dBi ;
- Att : l'atténuation totale en dB.

Q71. Montrer que le maximum d'atténuation totale doit être de 131 dB.

En milieu urbain, l'atténuation liée à la propagation des ondes se calcule avec la relation suivante :

$$A = 40 \times \log(d) + 4$$

avec

- d la distance entre l'émetteur et le récepteur en m ;
- A l'atténuation en milieu urbain en dB.

Q72. Vérifier que la distance maximale possible entre bornes et passerelles correspond au cahier des charges.

BTS CYBERSÉCURITÉ, INFORMATIQUE ET RÉSEAUX, ÉLECTRONIQUE Option électronique et réseaux		Session 2025
Étude et conception de produits électroniques – E4	Code : 25CIELBEC	Page S-Ph 8 sur 10

Partie 5 – Transmission par modulation LoRa

L'objectif de cette partie est de valider que le débit est respecté compte tenu des caractéristiques de la transmission LoRa.

Pour cela, des caractéristiques techniques de la technologie LoRa sont mises à disposition au fil des questions de cette partie.

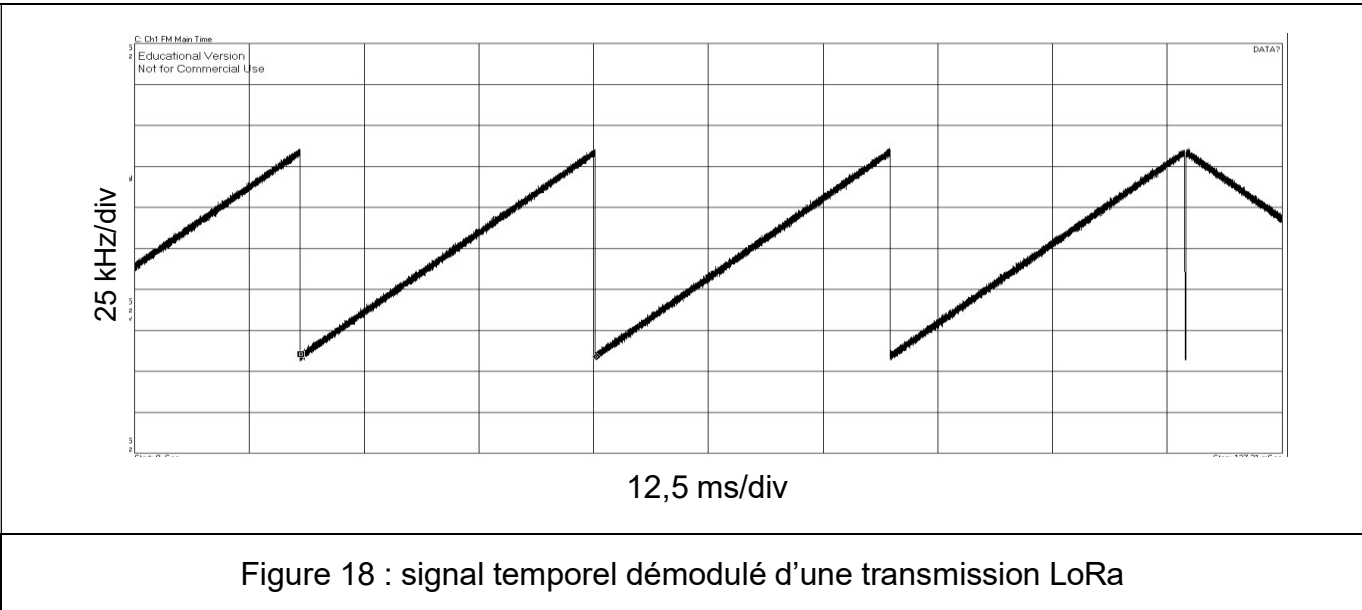
La communication entre les bornes « arrêt-minute » et les passerelles se fait par une liaison hertzienne avec un protocole de liaison LoRa.

Q73. Relever la fréquence centrale f_c du spectre du module LoRa puis **indiquer** sa valeur sur le document réponses DR-Ph 4.

Le spectre relevé sur le document réponses DR-Ph 4 fait apparaître une zone grisée correspondant à l'encombrement BW (Band Width) appelée aussi bande occupée.

Q74. Mesurer l'encombrement BW du spectre du module LoRa puis **indiquer** sa valeur sur le document réponses DR-Ph 4.

Un chirp (Compressed High Intensity Radar Pulse) correspond à un symbole émis en modulation LoRa et on transmet un nombre entier de chirps.



Q75. Mesurer la durée T_{chirp} d'un chirp représenté par une rampe sur le chronogramme de la figure 18.

Cette modulation LoRa a les caractéristiques suivantes : la durée d'un symbole T_{symbole} dépend du facteur d'étalement (SF) et de l'encombrement spectral du signal (BW) comme indiqué sur la figure 19.

Encombrement spectral BW	Facteur d'étalement SF	Ratio de codage CR	Débit binaire D	Sensibilité S
Valeur mesurée	12	4/5	293 bps	-136 dBm
Le temps d'émission de chaque symbole T_{symbole} est inversement proportionnel à l'encombrement spectral et tient compte du facteur d'étalement selon la relation : $T_{\text{symbole}} = \frac{2^{\text{SF}}}{\text{BW}}$ avec BW en Hz.				
Figure 19 : quelques caractéristiques de la transmission LoRa				

Le temps d'émission autorisé pour chaque borne est de 1400 ms avec un facteur d'étalement de 12 et un débit de 293 bps.

Q76. Calculer la valeur T_{symbole} en utilisant la formule donnée figure 19.

Q77. Vérifier que l'écart relatif entre la durée expérimentale d'un chirp T_{chirp} et la valeur T_{symbole} , est inférieur à 5 %.

Chaque symbole est composé de SF bits.

Q78. Indiquer, compte-tenu du facteur d'étalement, le nombre total de symboles différents possibles.

Le débit binaire D se calcule avec la formule suivante :

$$D = \text{SF} \times \frac{\text{BW}}{2^{\text{SF}}} \times \text{CR}$$

avec l'encombrement spectral BW en hertz.

Q79. Calculer le débit binaire de la transmission en précisant l'unité.

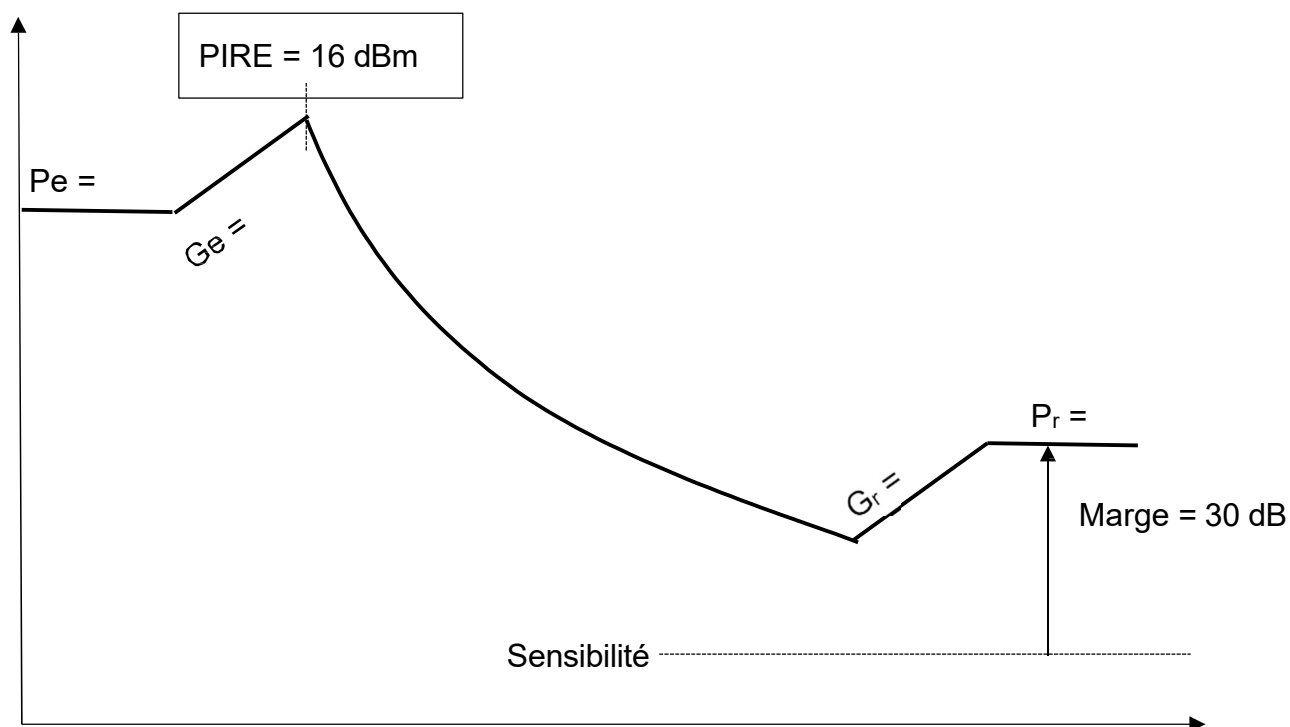
Q80. Justifier que le débit est compatible avec la documentation et le résultat attendu.

BTS CYBERSÉCURITÉ, INFORMATIQUE ET RÉSEAUX, ÉLECTRONIQUE Option électronique et réseaux		Session 2025
Étude et conception de produits électroniques – E4	Code : 25CIELBECF	Page S-Ph 10 sur 10

Document réponses – Domaine de la physique

À rendre avec la copie

Partie 4 – Réponses aux questions Q61., Q62., Q68. et Q70.



BTS CYBERSÉCURITÉ, INFORMATIQUE ET RÉSEAUX, ÉLECTRONIQUE Option électronique et réseaux		Session 2025
Étude et conception de produits électroniques – E4	Code : 25CIELBEC	Page DR-Ph 1 sur 4

(en majuscules)

[illegible]

(en majuscules)

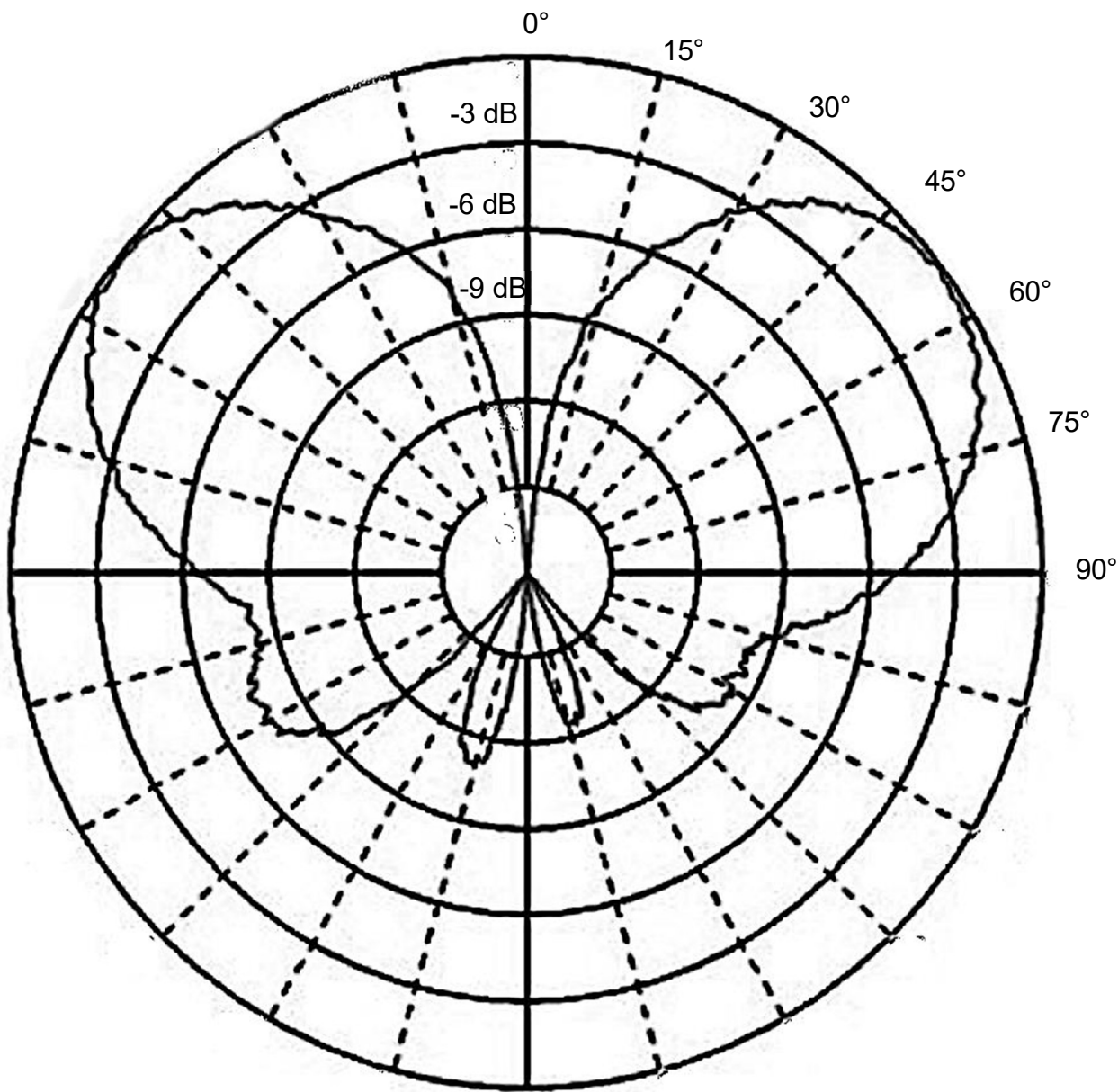
[illegible][illegible]

--	--	--



(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Partie 4 – Réponses à la question Q64.



(en majuscules)

[illegible]

(en majuscules)

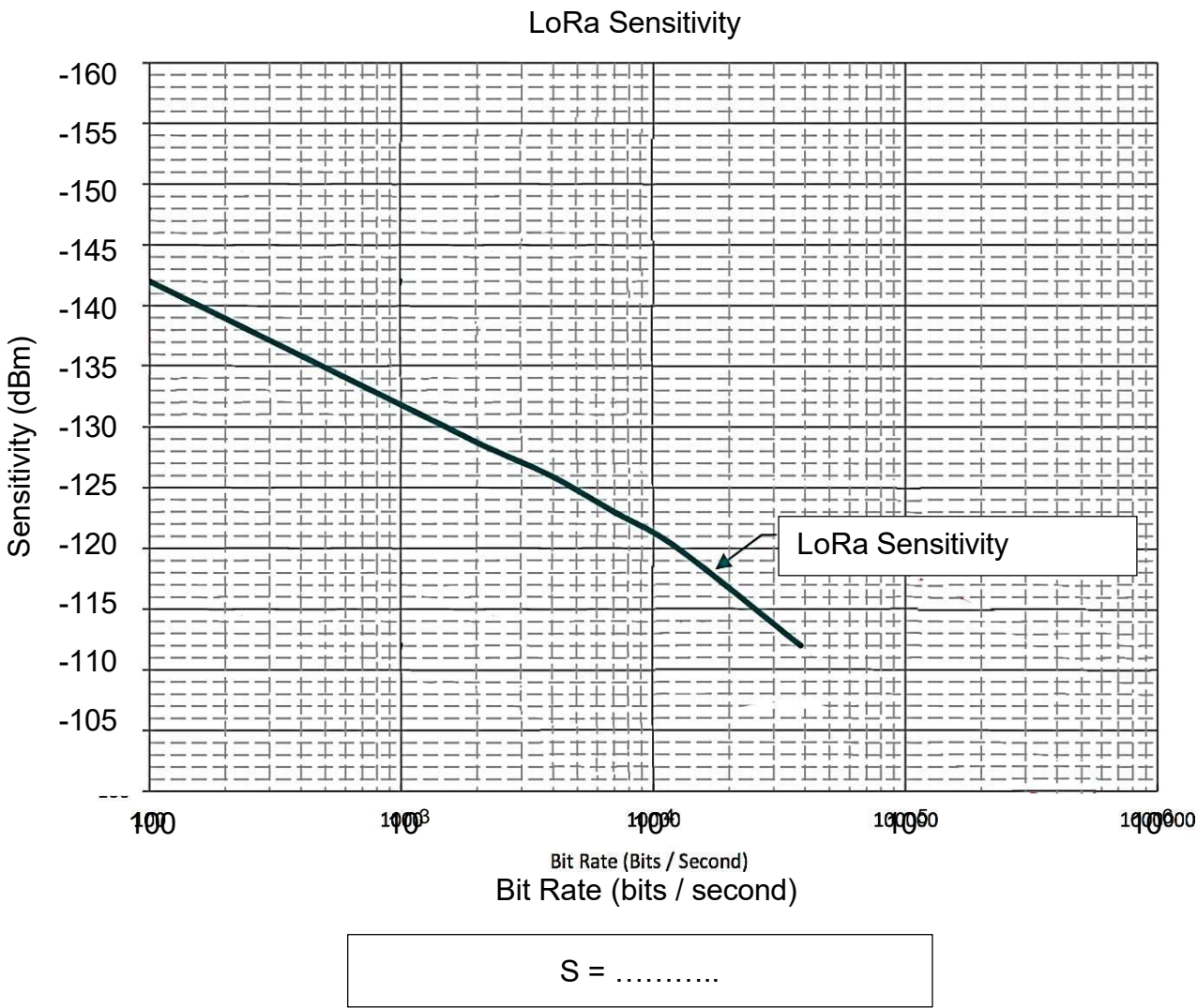
[illegible][illegible]

--	--	--



(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Partie 4 – Réponse à la question Q69.



(en majuscules)

[illegible]

(en majuscules)

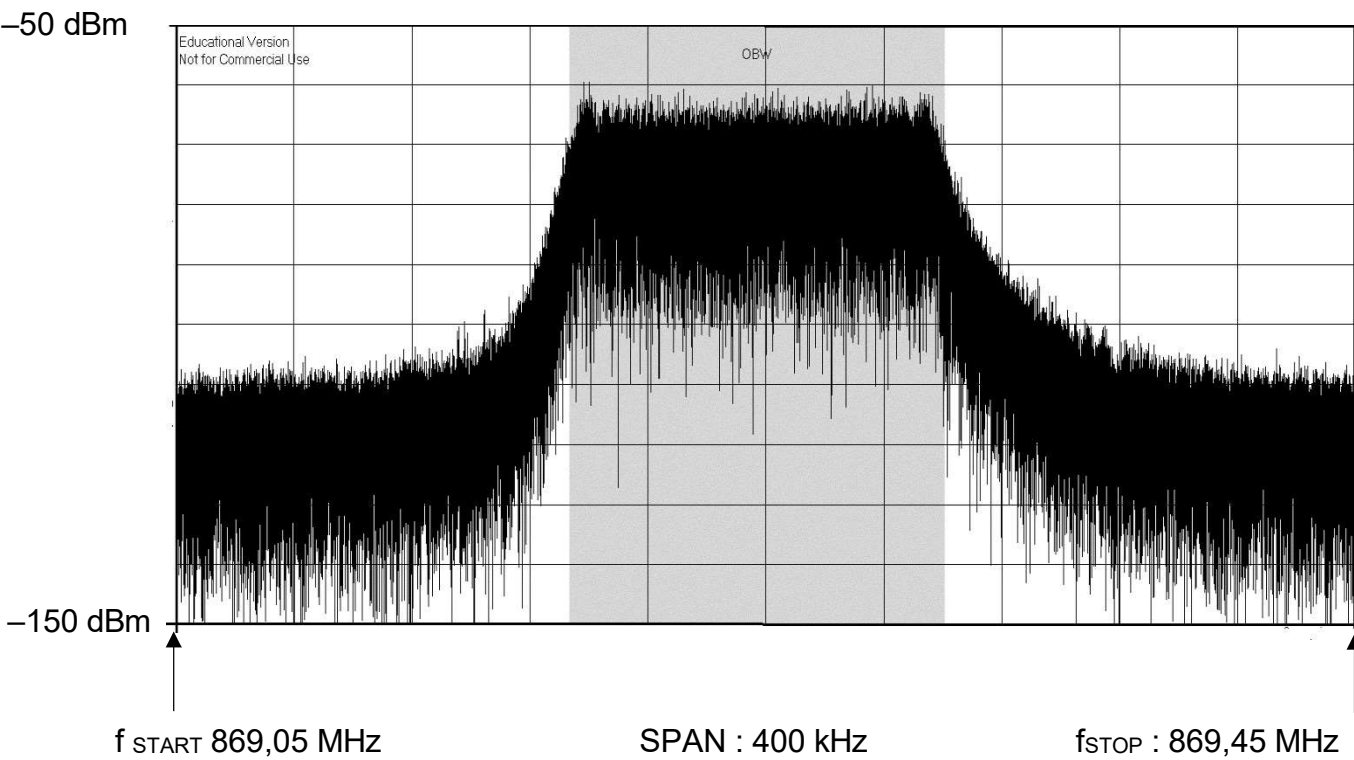
[illegible][illegible]

--	--	--



(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Partie 5 – Réponses aux questions Q73. et Q74.



Fréquence centrale f_c	
Encombrement spectral BW	

(en majuscules)

[illegible]

(en majuscules)

[illegible][illegible]

--	--	--



(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

CYBERSÉCURITÉ, INFORMATIQUE ET RÉSEAUX, ÉLECTRONIQUE OPTION ÉLECTROTECHNIQUE ET RÉSEAUX		Session 2025
Étude et conception de produits électroniques – E4	Code : 25CIELBECF	Page DOC1 sur 20