

SUJET

Option B – Électronique et Communications

Partie 2 - Sciences Physiques

Durée 2 h - Coefficient 2

Le sujet est composé de 3 parties indépendantes :

- Partie A : alimentation d'une batterie par la voile solaire.
- Partie B : portée de la transmission d'un signal AIS.
- Partie C : signal radio VHF transportant le signal AIS.

Présentation

Le système est un bateau à voile solaire (figure 1). L'étude porte sur deux de ses équipements :

- un chargeur de batterie M.P.P.T. muni d'un asservissement pour rechercher le point de fonctionnement à puissance maximale fournie par la voile solaire ;
- un récepteur radio VHF utilisé pour obtenir le signal AIS d'identification automatique d'un bateau et éviter ainsi une collision.



Figure 1 – Bateau à voile solaire

SESSION 2024	BTS Systèmes Numériques Option B Électronique et Communications Épreuve E4	Page S-SP1 sur 9
24SN4SNEC1	Sciences Physiques - Sujet	

Partie A. Alimentation d'une batterie par la voile solaire

Problématique : fournir une puissance suffisante pour recharger la batterie.

La batterie associée aux quatre modules étudiés a besoin au minimum de 20 W.

Afin d'optimiser le fonctionnement de la voile, un chargeur M.P.P.T. (Maximum Power Point Tracking) sera intercalé entre les modules solaires de la voile et la batterie. Ce chargeur permet de maximiser la puissance $P_{V_{Smax}}$ électrique fournie par la voile solaire.

Le rapport d'efficacité quantifie le bénéfice en puissance de la fonction M.P.P.T par rapport à un branchement direct. Sa valeur doit être d'au moins 60 %.

L'étude porte dans un premier temps sur un seul module de la voile solaire, formé par l'association en série de 3 cellules élémentaires comme présenté sur la figure 2.

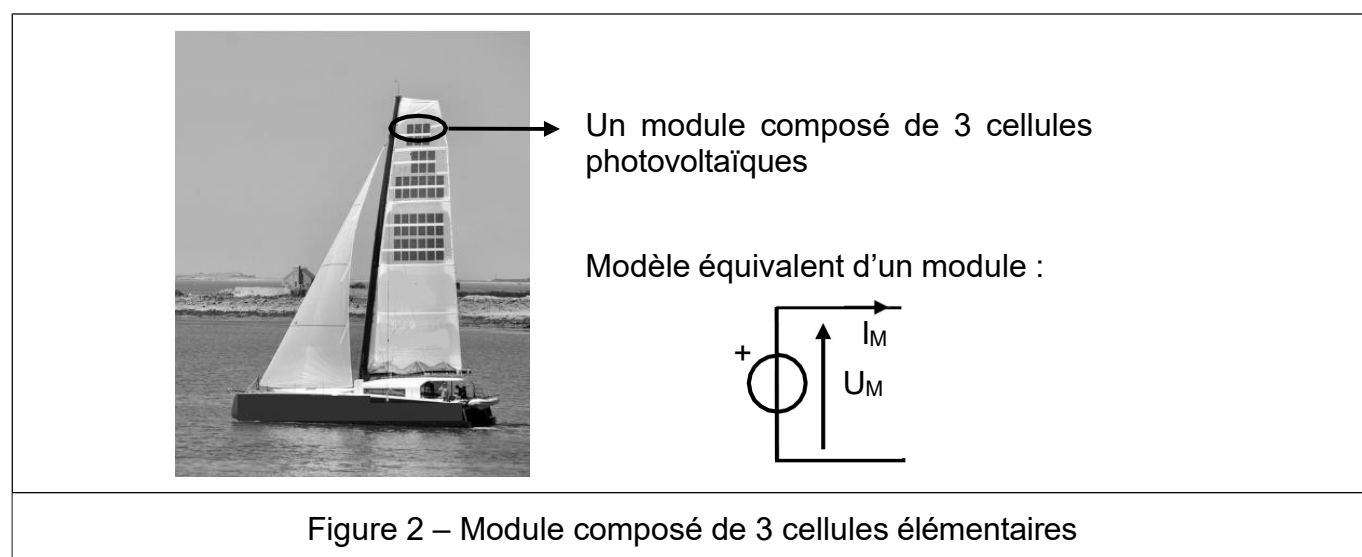


Figure 2 – Module composé de 3 cellules élémentaires

Les caractéristiques courant - tension $I_M(U_M)$ d'un module étudié de la voile solaire et puissance électrique délivrée - tension $P_M(U_M)$ sont représentées sur le document réponses **DR-SP1**.

Avec un soleil voilé, l'éclairement énergétique E est considéré comme valant 200 W.m^{-2} .

Q42. Relever et indiquer sur le document réponses **DR-SP1** la valeur du courant I_{cc} de court-circuit.

Sur la figure 3, on envisage un branchement direct de la voile solaire aux bornes de la batterie, supposée partiellement déchargée, avec une tension U_{Bat} à ses bornes de 12,4 V.

Lorsque la voile solaire est à l'ombre ou pendant la nuit, la diode anti-retour de courant est nécessaire. Pour la suite de l'étude, l'éclairement énergétique sera supposé suffisant pour que la diode soit passante. I_M sera alors positif et U_{AK} vaudra 0,6 V.

SESSION 2024	BTS Systèmes Numériques Option B Électronique et Communications Épreuve E4	Page S-SP2 sur 9
24SN4SNEC1	Sciences Physiques - Sujet	

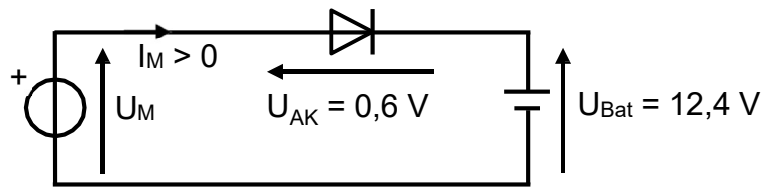


Figure 3 – Branchement direct de la batterie aux bornes de la voile solaire

- Q43.** Exprimer U_M en fonction de U_{AK} et U_{Bat} . Calculer U_{Md} , valeur de U_M pour un branchement direct sur la batterie avec diode anti-retour ($U_{Bat} = 12,4 \text{ V}$).
- Q44.** Relever les valeurs du courant I_{Md} et de la puissance P_{Md} pour la valeur U_{Md} . Faire apparaître la construction graphique sur le document réponses **DR-SP1**.
- Q45.** Donner l'expression de P_{Md} et valider par le calcul la valeur trouvée graphiquement.

On place désormais un chargeur de batterie M.P.P.T. entre un module de la voile solaire et la batterie (figure 4).

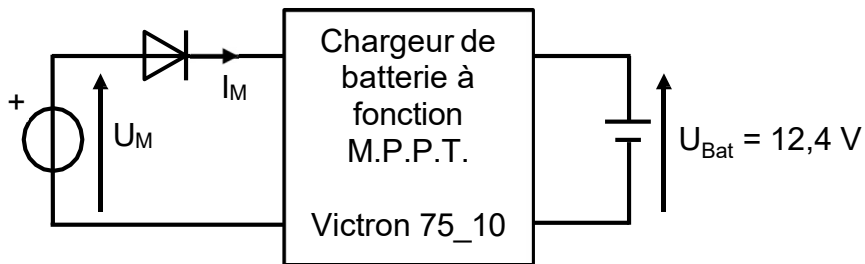


Figure 4 – Branchement du chargeur de batterie à fonction M.P.P.T.

Grâce à la fonction M.P.P.T., la voile solaire délivre la puissance électrique maximale possible.

- Q46.** Relever et indiquer sur le document réponses **DR-SP1** la valeur de la puissance P_{Mmax} correspondant au point de fonctionnement M.P.P.T. Faire apparaître la construction graphique.

Le rapport d'efficacité de la fonction M.P.P.T. par rapport à un branchement direct est donné par :

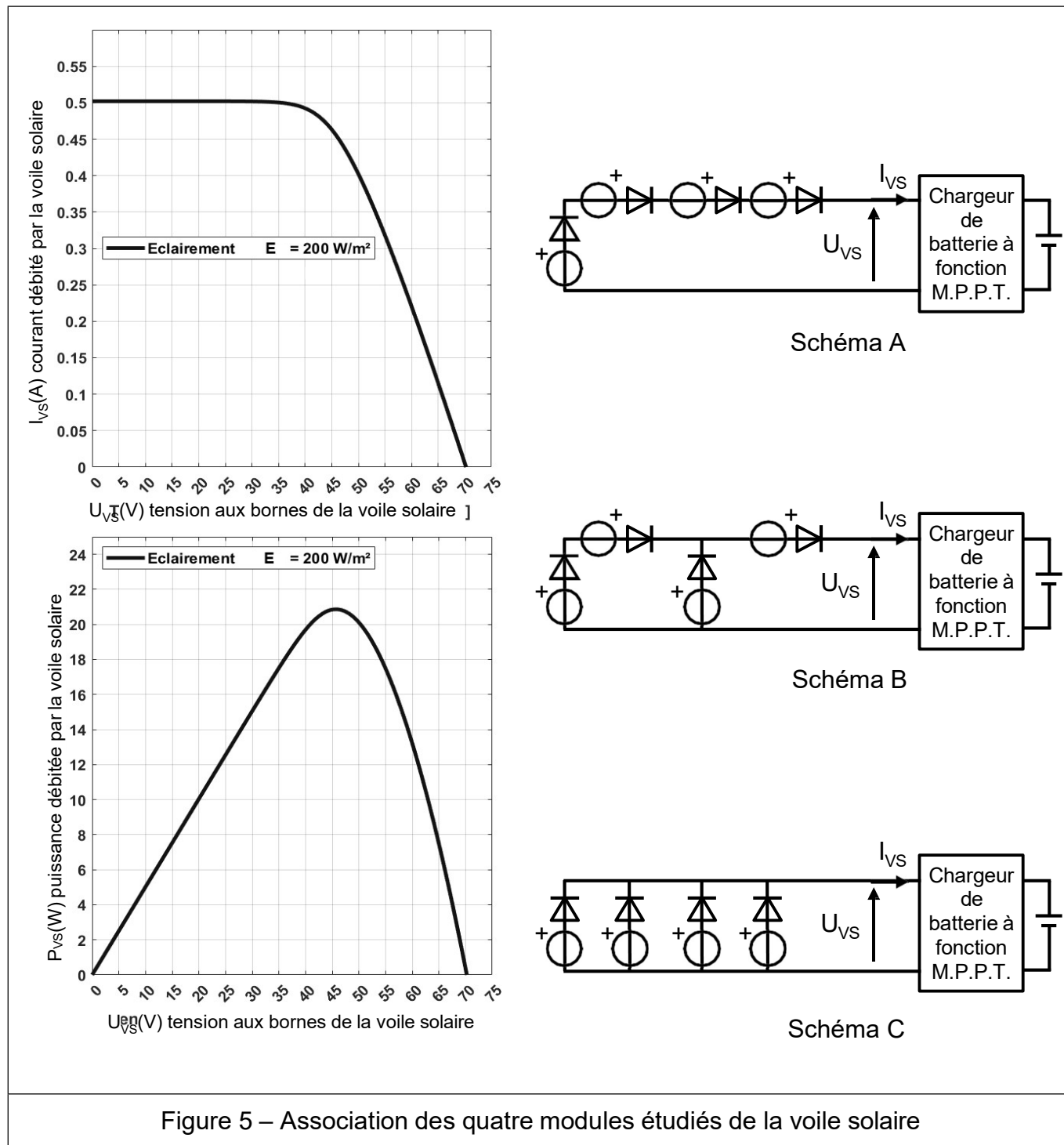
$$\eta = \frac{P_{Mmax} - P_{Md}}{P_{Mmax}}$$

- Q47.** Vérifier si le rapport d'efficacité de la fonction M.P.P.T. du chargeur associé à un module est supérieur à la valeur minimale souhaitée.

SESSION 2024	BTS Systèmes Numériques Option B Électronique et Communications Épreuve E4	Page S-SP3 sur 9
24SN4SNEC1	Sciences Physiques - Sujet	

En réalité, sur la voile solaire, on associe quatre modules identiques en entrée du chargeur de batterie. On obtient les caractéristiques de la figure 5.

Q48. Donner, parmi les trois propositions présentées sur la figure 5, le schéma structurel correspondant à la solution retenue. Justifier le choix.



Q49. Justifier que la solution retenue répond au cahier des charges.

SESSION 2024	BTS Systèmes Numériques Option B Électronique et Communications Épreuve E4	Page S-SP4 sur 9
24SN4SNEC1	Sciences Physiques - Sujet	

Partie B. Portée de la transmission d'un signal AIS

Problématique : assurer une communication permettant à un bateau de naviguer en toute sécurité.

La portée de la communication du signal AIS entre deux bateaux peut ne pas être suffisante pour éviter une collision.

La portée nécessaire pour naviguer en sécurité est estimée à 15 km. Les plus petits bateaux ont un émetteur de faible puissance P_e de 2 W.

La communication se fait entre l'émetteur et un récepteur. Ils sont associés tous les deux à une antenne VHF Banten dont les caractéristiques sont données à la figure 6.

Les caractéristiques du récepteur (Em-trak R100) sont également données à la figure 6.

Em-trak R100 Dual Channel Receiver	
Parameter	Value
Power	DC (9.6 V – 31.2 V); Peak current rating 200 mA
Electrical interface	NMEA0183 38400 baud (output)
Connector	VHF antenna connector type: SO239 50 Ω
Dual channel receiver	161.975 MHz and 162.025 MHz
Channel Bandwidth	25 kHz
Receiver Sensitivity	Better than - 107 dBm at 20 % Packet Error Rate
ANTENNE VHF BANTEN, muni de son câble coaxial serti de longueur 18 m	
Paramètre	Valeur
Gain de l'antenne	3 dBi pour $f = 160$ MHz
Impédance caractéristique du câble d'antenne	50 $\Omega \pm 2$ %
Coefficient de vélocité du câble d'antenne	$K_v = 66$ %
Atténuation linéique du câble d'antenne	20 dB/100 m pour $f = 160$ MHz 34 dB/100 m pour $f = 400$ MHz
Figure 6 – Caractéristiques du récepteur	

Dans un premier temps, les antennes sont positionnées à une altitude de 9 m au-dessus du niveau de la mer.

On rappelle la formule : $P_{\text{dBm}} = 10 \cdot \log\left(\frac{P}{10^{-3}}\right)$ avec P en W et P_{dBm} en dBm.

Q50. Calculer le niveau de puissance émise P_{edBm} en dBm. Compléter la ligne correspondante dans le document réponses **DR-SP2**.

Q51. Calculer l'atténuation $A_{\text{câble}}$ due au câble d'antenne dont la longueur vaut 18 m et pour une fréquence compatible avec le récepteur, en vous aidant des données de la figure 6. Compléter les cases correspondantes dans le document réponses **DR-SP2**.

SESSION 2024	BTS Systèmes Numériques Option B Électronique et Communications Épreuve E4	Page S-SP5 sur 9
24SN4SNEC1	Sciences Physiques - Sujet	

Q52. Déterminer et indiquer sur le document réponses **DR-SP2** la valeur de la PIRE.

Q53. Déterminer et indiquer, compte-tenu des données de la figure 6 et de la dernière partie du bilan de liaison du document réponse **DR-SP2**, le niveau minimum admissible de puissance reçue P_{rdBmin} sur ce même document (**DR-SP2**).

Q54. En déduire que l'atténuation maximale A_{propa_max} due à la propagation vaut 123,8 dB.

Dans la bande VHF utilisée, les signaux modulés se propagent en ligne droite. Mais, à cause de la rotondité de la Terre, un effet de masquage peut survenir (figure 7). L'atténuation est représentée sur la figure 8.

La hauteur de l'antenne de l'émetteur est fixée à 9 m.

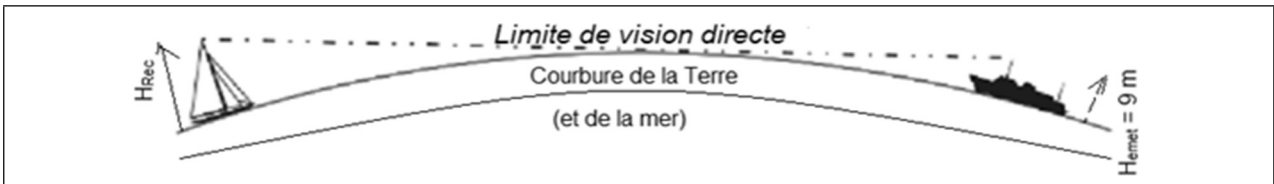


Figure 7 – Effet de masque dû à la rotondité de la Terre

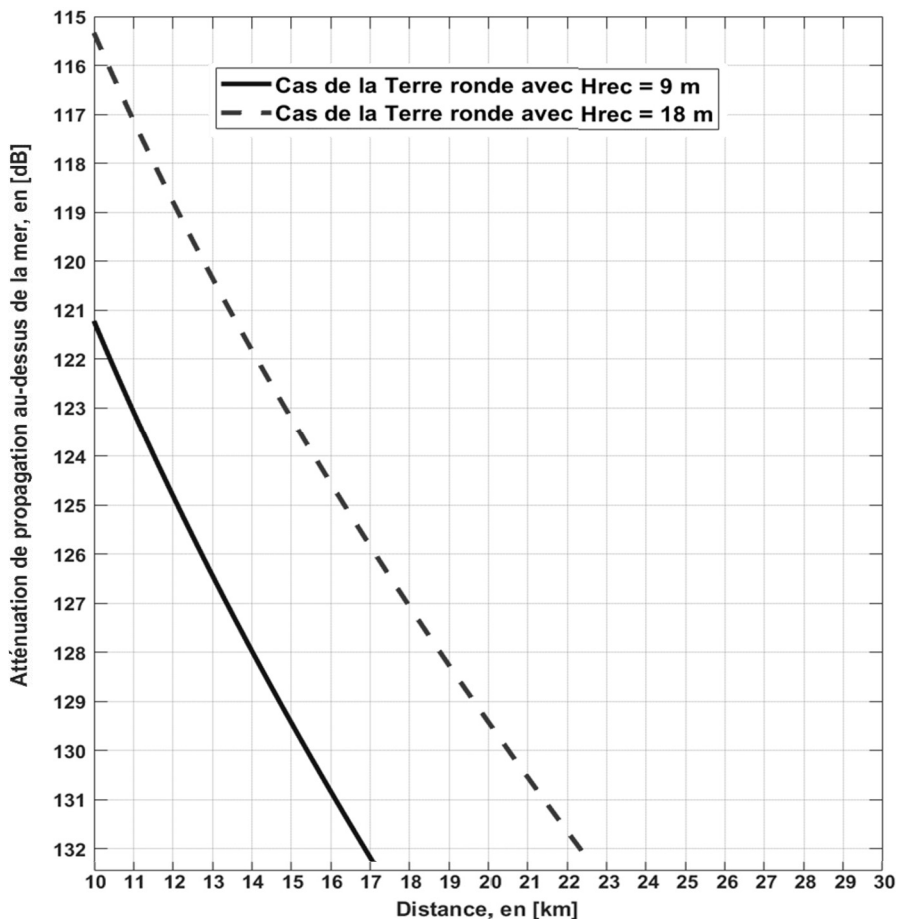


Figure 8 – Atténuation de propagation en fonction de la distance d'après l'International Telecommunication Union Recommendation

SESSION 2024	BTS Systèmes Numériques Option B Électronique et Communications Épreuve E4	Page S-SP6 sur 9
24SN4SNEC1	Sciences Physiques - Sujet	

Au départ, l'antenne de réception est placée à une altitude H_{Rec} de 9 m.

Q55. Déterminer graphiquement la portée d_0 de la communication à l'aide de la figure 8 et justifier qu'elle n'est pas suffisante.

Pour améliorer la portée, deux solutions sont envisagées :

- solution n°1 : utiliser un récepteur radio avec une meilleure sensibilité : $S_{\text{new}} = -111$ dBm ;
- solution n°2 : doubler l'altitude de l'antenne de réception et la placer en haut du mât du voilier étudié : $H_{\text{Rec}} = 18$ m.

Q56. Déterminer la portée d_1 de la communication dans la solution n°1 à l'aide de la figure 8.

Q57. Déterminer la portée d_2 de la communication dans la solution n°2 à l'aide de la figure 8.

Q58. En déduire la (les) solution(s) permettant de respecter le cahier des charges.

SESSION 2024	BTS Systèmes Numériques Option B Électronique et Communications Épreuve E4	Page S-SP7 sur 9
24SN4SNEC1	Sciences Physiques - Sujet	

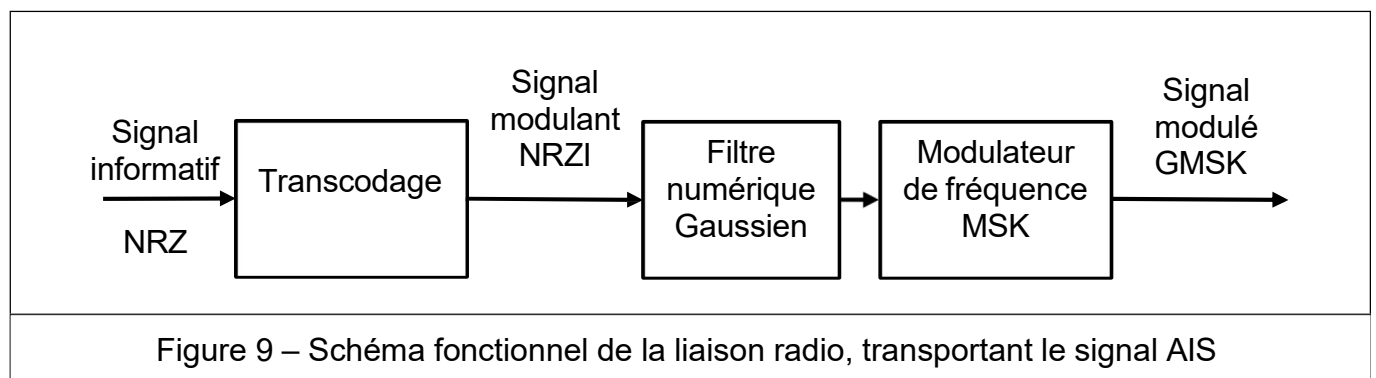
Partie C. Signal radio VHF transportant le signal AIS

Problématique : vérifier la conformité du signal AIS.

L'encombrement spectral du signal VHF transportant le signal AIS doit respecter la largeur de la bande autorisée d'un canal d'émission.

La largeur du canal VHF B, centré sur 162,025 MHz, vaut 25 kHz. Le filtre numérique appliqué au signal modulant doit permettre au signal modulé VHF de respecter la largeur du canal VHF B (figure 9).

Pour ce filtre, le produit $BP \cdot T_b$ doit être inférieur ou égal à 0,4 à l'émission, selon la recommandation Rec. ITU-R M.1371-1, BP étant la largeur de la bande passante à -3 dB du filtre et T_b la durée d'un bit.



Après quelques modifications, le signal informatif AIS est précédé par un préambule de 24 bits "0" et "1" alternés.

Une partie de cette trame NRZ est représentée sur le document réponses **DR-SP3**.

On réalise ensuite un transcodage pour obtenir une trame codée NRZI selon la règle :

- changement de niveau par rapport au bit précédent en présence d'un bit "0" ;
- pas de changement de niveau en présence d'un bit "1".

Le débit D de ces deux signaux est de $9600 \text{ bit}\cdot\text{s}^{-1}$.

Q59. Compléter l'extrait de la trame codée NRZI sur le document-réponses **DR-SP3**.

Dans les deux questions qui suivent uniquement, on ne tient pas compte du filtre numérique.

La trame NRZI précédente est émise en modulation MSK, qui est une modulation de fréquence à phase continue :

- F_1 est la fréquence qui représente le niveau haut de la trame NRZI ;
- F_0 est la fréquence qui représente le niveau bas de la trame NRZI.

Q60. Entourer le signal qui correspond à une modulation MSK parmi les trois signaux du document réponses **DR-SP3**. Justifier le choix.

SESSION 2024	BTS Systèmes Numériques Option B Électronique et Communications Épreuve E4	Page S-SP8 sur 9
24SN4SNEC1	Sciences Physiques - Sujet	

Pour une émission dans le canal VHF B, centré sur 162,025 MHz, on a en réalité $F_1 = 162,0274$ MHz et $F_0 = 162,0226$ MHz.

L'indice de modulation MSK est donné par : $\mu = \frac{F_1 - F_0}{D}$.

Q61. Calculer l'indice de modulation μ .

En réalité, le signal modulant NRZI, est filtré par un filtre numérique avant modulation. On échantillonne la trame NRZI à la fréquence $F_e = 8 \cdot D$.

On donne l'algorithme du filtre numérique sur le document réponses **DR-SP4**.

Q62. Déterminer si ce filtre numérique est récursif.

Q63. Déterminer si ce filtre numérique est stable.

Q64. Compléter le tableau du document réponses **DR-SP4**. Justifier le calcul des deux premiers termes de la réponse impulsionnelle.

Le Gain G du filtre numérique en fonction de la fréquence réduite x est représenté sur le document réponses **DR-SP5** avec $x = \frac{f}{F_e}$.

Q65. Préciser, avec justification, la nature du filtre.

Q66. Montrer que la largeur de la bande passante BP à -3 dB vaut 3,84 kHz. Faire apparaître la construction graphique sur le document réponses **DR-SP5**.

Q67. Calculer la valeur du produit BP \cdot T_b de ce filtre.

Le signal en sortie du filtre numérique est alors modulé pour donner un signal GMSK.

Le spectre du signal modulé GMSK est donné sur le document réponses **DR-SP5**.

La bande occupée B_{30} est la bande de fréquence dans laquelle le niveau de puissance du signal est supérieur à son niveau maximum moins 30 dB.

Q68. Déterminer graphiquement et indiquer la valeur de B_{30} sur le document réponses **DR-SP5**.

Q69. Vérifier que les deux points du cahier des charges sont validés.

SESSION 2024	BTS Systèmes Numériques Option B Électronique et Communications Épreuve E4	Page S-SP9 sur 9
24SN4SNEC1	Sciences Physiques - Sujet	

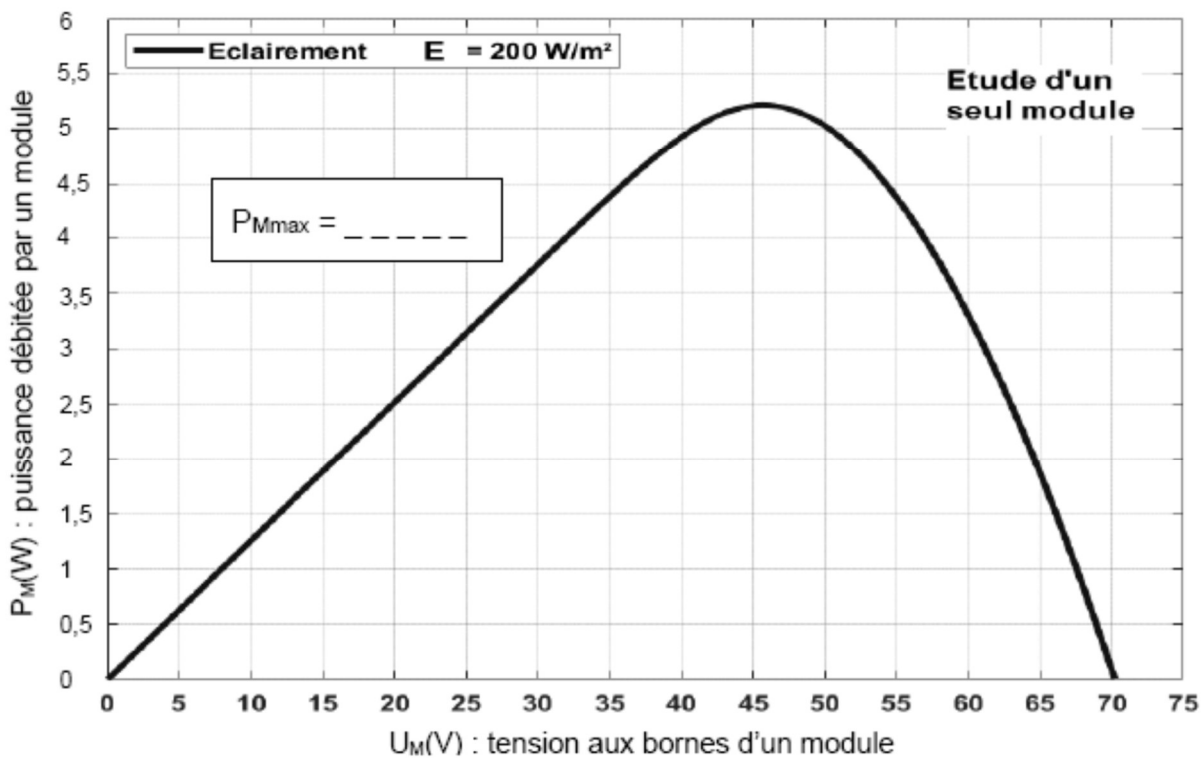
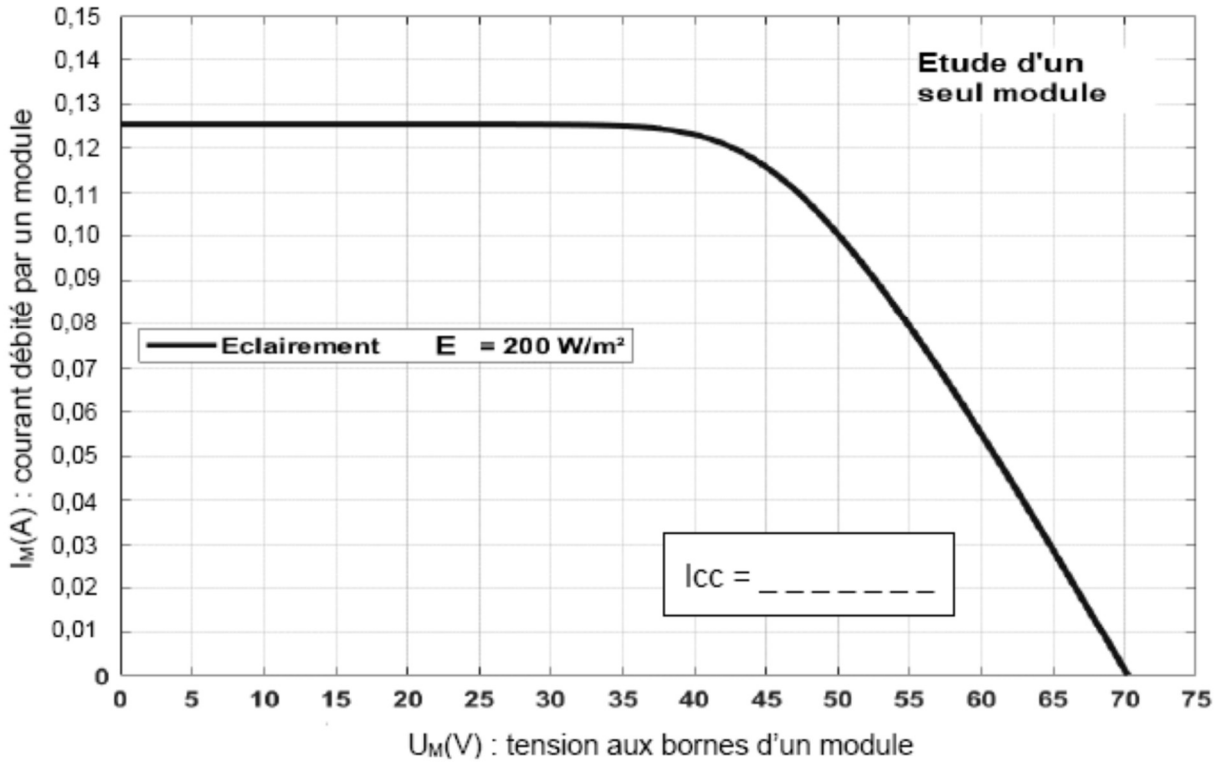
Page blanche laissée intentionnellement.

Ne rien inscrire dessus.

DOCUMENT RÉPONSES - Sciences Physiques

À RENDRE AVEC LA COPIE

Réponses aux questions Q42, Q44 et Q46



SESSION 2024	BTS Systèmes Numériques Option B Électronique et Communications Épreuve E4	Page DR-SP1 sur 5
24SN4SNEC1	Sciences Physiques - Document réponses	

Réponses aux questions Q50 à Q53

BILAN DE LIAISON

Niveau de puissance émise : $P_{edBm} = \text{-----}$



Atténuation due au câble : $A_{c\grave{a}ble} = \text{-----}$



Gain de l'antenne d'émission : $G_{emet} = 3 \text{ dBi}$



Puissance isotrope rayonnée équivalente :
 $PIRE = \text{-----}$



Atténuation A_{propa} due à la propagation



Niveau minimal admissible de puissance
reçue :
 $P_{rdBmmin} = \text{-----}$



Gain de l'antenne de réception : $G_{recep} = 3 \text{ dBi}$



Atténuation due au câble : $A_{c\grave{a}ble} = \text{-----}$

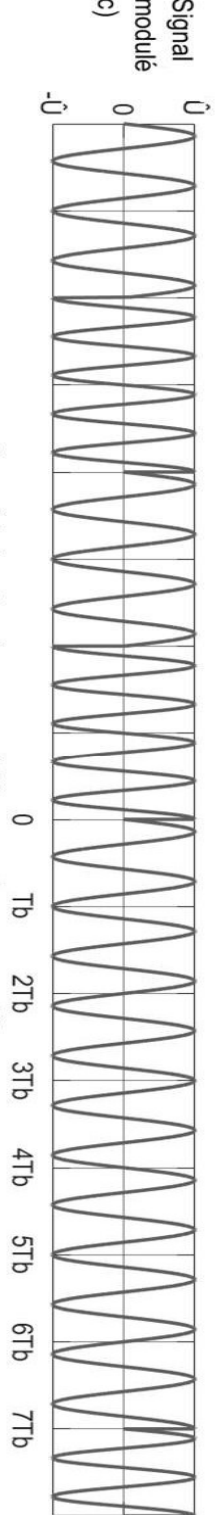
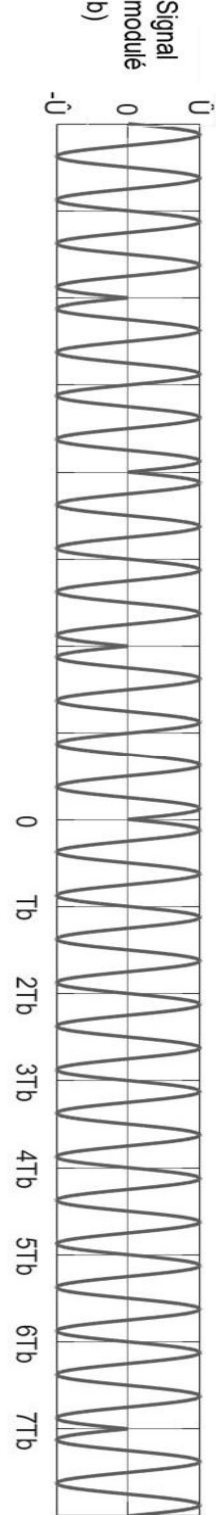
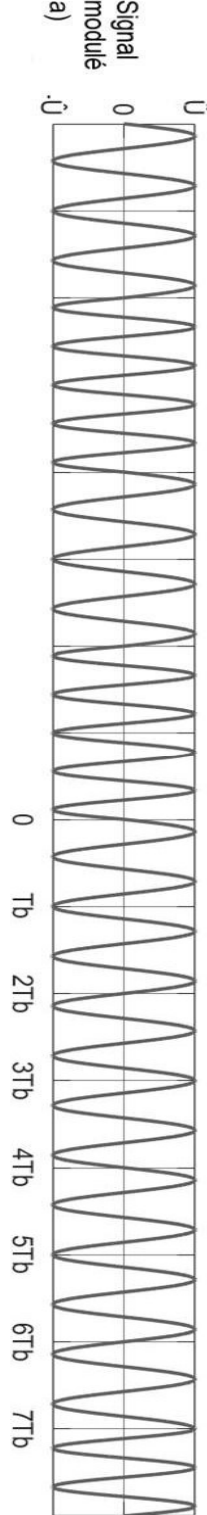
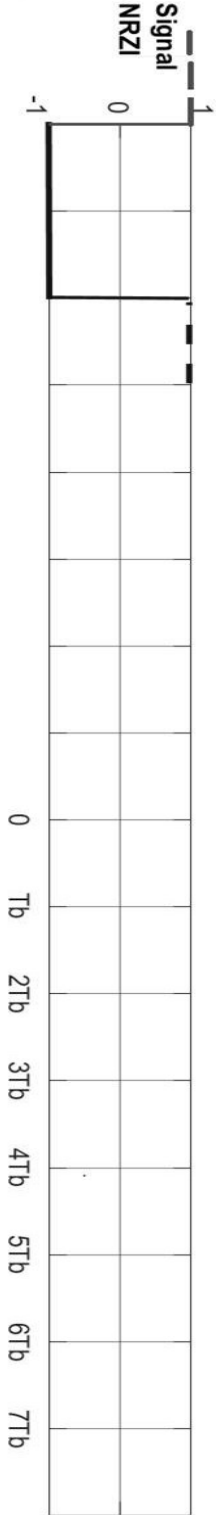
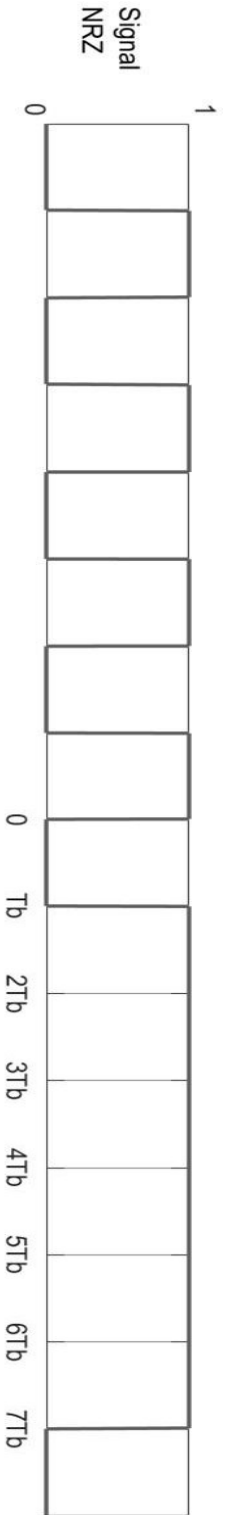


Sensibilité du récepteur radio + marge de 15 dB

$S + 15 = \text{-----}$

SESSION 2024	BTS Systèmes Numériques Option B Électronique et Communications Épreuve E4	Page DR-SP2 sur 5
24SN4SNEC1	Sciences Physiques - Document réponses	

Réponses aux questions Q59 et Q60



Les périodes des signaux modulés ne sont pas respectées.

Réponses à la question Q64

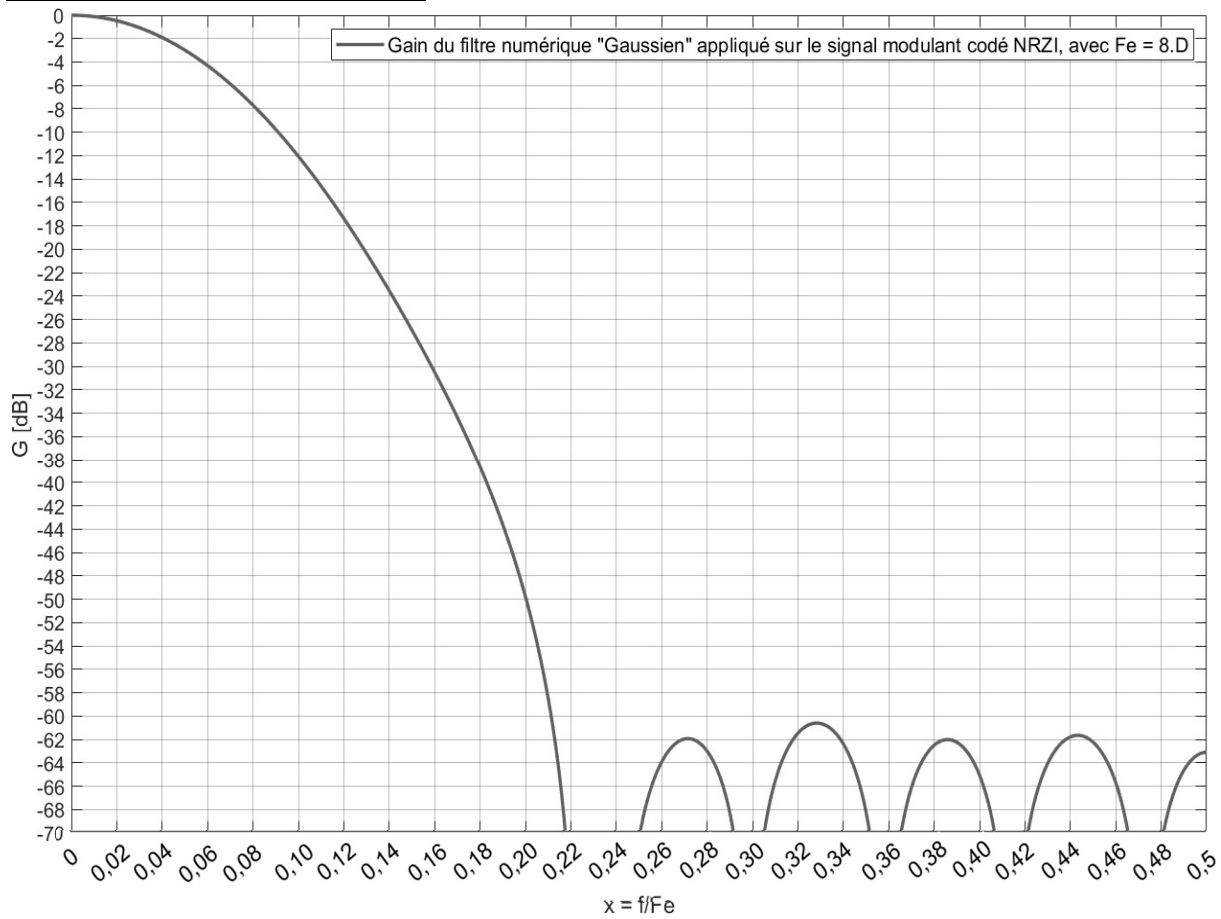
Algorithme du filtre numérique « Gaussien » :

$$Y_n = 0,00158 \cdot X_n + 0,0046 \cdot X_{n-1} + 0,0116 \cdot X_{n-2} + 0,0254 \cdot X_{n-3} + 0,0482 \cdot X_{n-4} + 0,0794 \cdot X_{n-5} + 0,113 \cdot X_{n-6} + 0,14 \cdot X_{n-7} + 0,151 \cdot X_{n-8} + 0,14 \cdot X_{n-9} + 0,113 \cdot X_{n-10} + 0,0794 \cdot X_{n-11} + 0,0482 \cdot X_{n-12} + 0,0254 \cdot X_{n-13} + 0,0116 \cdot X_{n-14} + 0,0046 \cdot X_{n-15} + 0,00158 \cdot X_{n-16}$$

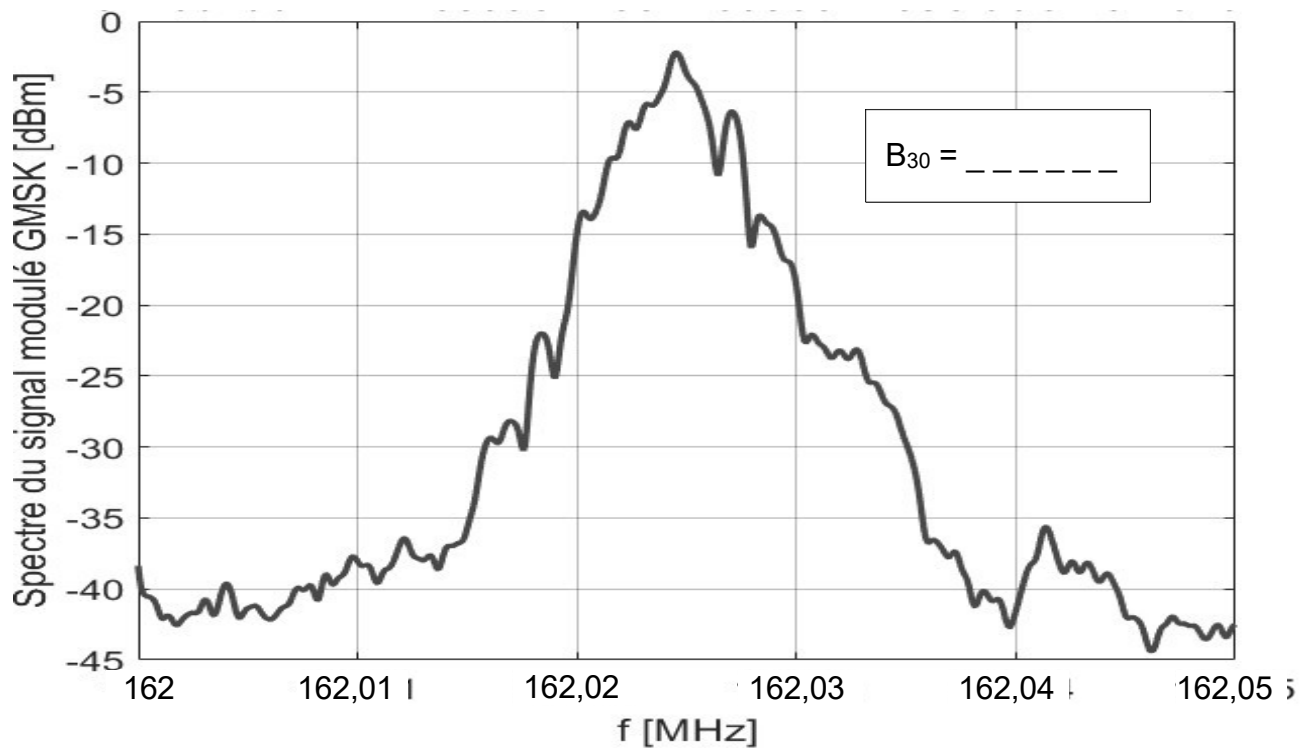
Rang n	0	1	2	3	4	5	6	7
Impulsion $\{X_n\}$	1	0	0	0	0	0	0	0
Réponse impulsionnelle $\{Y_n\}$								

8	9	10	11	12	13	14	15	16
0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0,14	0,113	0,0794	0,0482	0,0254	0,0116	0,0046	0,00158

Réponses à la question Q66



Réponses à la question Q68



SESSION 2024	BTS Systèmes Numériques Option B Électronique et Communications Épreuve E4	Page DR-SP5 sur 5
24SN4SNEC1	Sciences Physiques - Document réponses	

