

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR SYSTEMES ÉLECTRONIQUES

SESSION 2008

ÉPREUVE : PHYSIQUE APPLIQUÉE

*Calculatrice à fonctionnement autonome autorisé conformément à la circulaire n° 991836 du 16/11/99
Tout autre matériel est interdit*

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Le sujet comporte 20 pages, numérotées de 1/20 à 20/20.

Le sujet est à remettre avec la copie

SESSION 2008	CODE: SEE 4 PA
B.T.S. SYSTÈMES ÉLECTRONIQUES	
ÉPREUVE: PHYSIQUE APPLIQUÉE	
Durée : 4 heures	Coefficient: 4

Présentation

Une balise maritime est un dispositif de signalisation lumineuse installé en mer. Elle embarque sur sa structure une batterie d'accumulateurs, un feu de signalisation, un panneau solaire et un coffret comprenant la gestion électronique du rythme du feu, de l'énergie et de la communication par ondes « radio » avec un poste central de supervision.

Lorsqu'un poste central l'interroge sur son état, la balise renvoie la valeur des paramètres demandés (par exemple la tension de la batterie, l'état des alarmes etc.) par ondes radio. La carte de communication de la balise qui était en mode "réception" passe alors en mode "émission" et transmet les informations numériques sur une porteuse de fréquence 151,65 MHz. La modulation est de type F.S.K. La production de ce signal est confiée à un synthétiseur de fréquence à boucle à verrouillage de phase (P.L.L.).

Le schéma de principe du synthétiseur est le suivant :

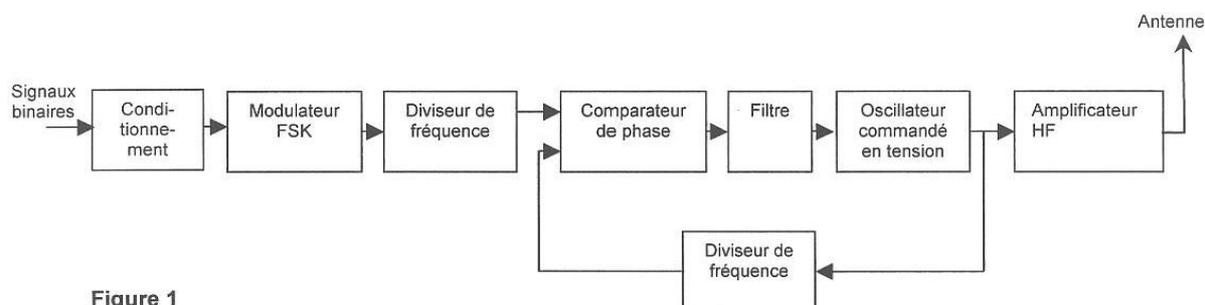


Figure 1

Le problème est constitué de quatre parties indépendantes.

Dans une première partie, on étudiera les caractéristiques de la modulation utilisée ainsi que les principes physiques intervenant dans le choix du codage et le conditionnement des données numériques.

La seconde partie du problème a pour objectif la détermination de quelques paramètres du synthétiseur afin qu'il puisse produire le signal demandé dans des conditions de stabilité satisfaisantes. On abordera dans la troisième partie deux points concernant les perturbations et le découplage en haute fréquence.

La dernière partie a pour objectif la comparaison du rayonnement de feux à LED et à incandescence.

1 Modulation, codage et conditionnement

Les signaux binaires sont émis par une modulation de type F.S.K. L'objet de cette partie est d'étudier les principes physiques intervenants dans le choix de la solution mise en oeuvre.

1.1 Caractéristiques de la transmission

Les signaux émis ont les caractéristiques suivantes :

Type de modulation	B.F.S.K. (binary frequency shift keying).
Fréquence de la porteuse	$F_p = 151,650$ MHz.
Excursion en fréquence $\pm 2,5$ kHz	$\Delta F = 2,5$ kHz.
Largeur d'un canal	$B_{\text{canal}} = 12,5$ kHz.
Le débit binaire	$D = 1200$ bps (bits par seconde).

Les porteuses adjacentes sont à 12,5 kHz de la porteuse étudiée.

L'encombrement en fréquence Bf_1 d'un signal modulé FSK est estimé par la relation (dérivée de la règle de Carson) :

$$Bf_1 = 2 (R + \Delta F) \text{ où } R \text{ est la rapidité de modulation.}$$

La fréquence basse F_L correspond à un niveau logique "0". La fréquence haute F_H correspond à un niveau logique "1".

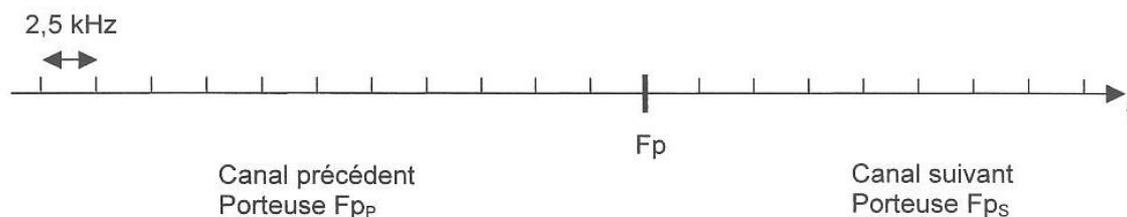
1.1.1 Donner les valeurs des deux fréquences F_H et F_L

1.1.2 En modulation B.F.S.K. : $R = D$, calculer l'encombrement en fréquence Bf_1 du signal F.S.K.

$Bf_1 =$

1.1.3 Compléter le graphe ci-dessous en représentant :

- les limites des canaux (barres verticales),
- les porteuses F_{pP} et F_{pS} des deux canaux adjacents,
- les deux fréquences F_H et F_L ,
- l'encombrement en fréquence du signal modulé calculé précédemment (on le représentera par une zone hachurée).



- 1.1.4 En pratique le spectre du signal modulé est représenté sur la figure 1.1. Repérer sur cette figure l'emplacement de la porteuse et les limites du canal (le jour de la mesure les canaux adjacents n'étaient pas occupés).

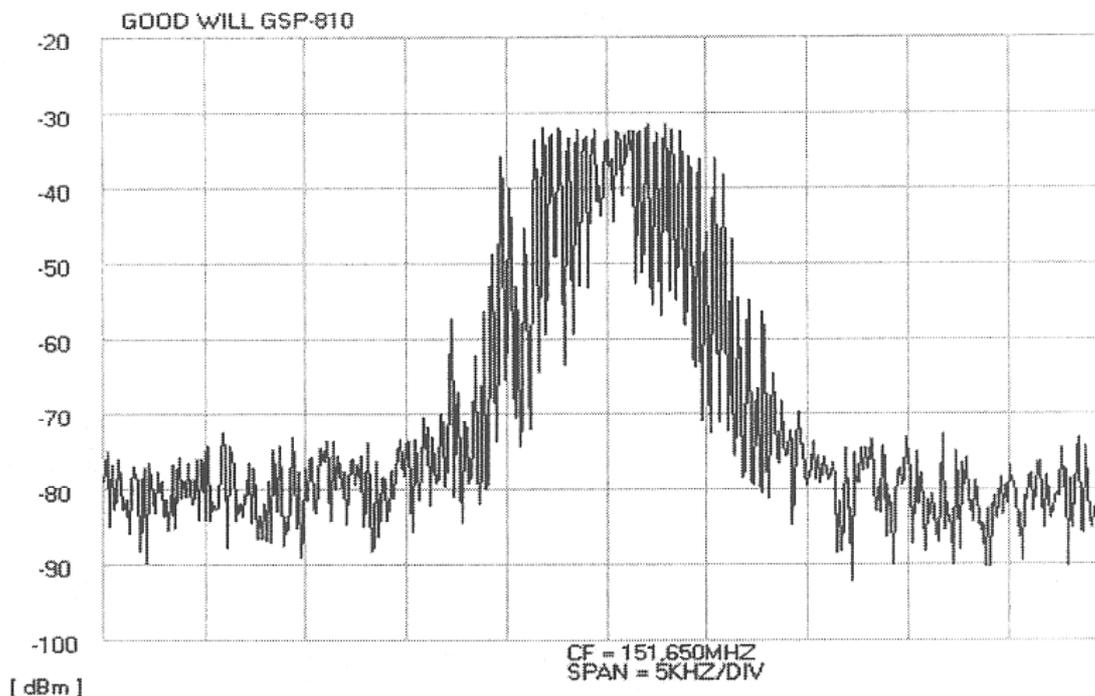


Figure 1-1

Pour respecter la largeur du canal, les cartes d'émission doivent limiter la bande passante de signal modulant. La chaîne de traitement de la modulation numérique est la suivante (figure 1.2)

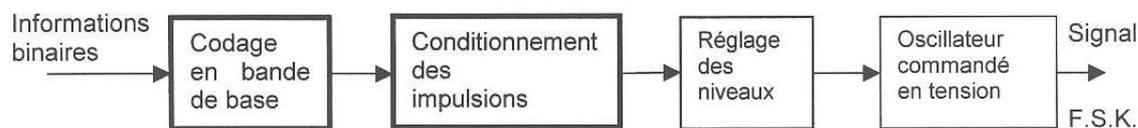


Figure 1-2

1.2 Codage en bande de base

Le but du codage en bande de base est de traduire les informations binaires en grandeurs électriques non modulées. Les codages N.R.Z. et Manchester sont comparés

1.2.1 Codage N.R.Z. (No Return to Zero)

Ce codage est défini par :

Etat "1" : Niveau haut $+V_D$;
 Etat "0" : Niveau bas $-V_D$ avec $V_D = 2,5V$

- 1.2.1.1 Exprimer la durée d'un bit T_B en fonction du débit binaire D .

- 1.2.1.2 $s_N(t)$ représente le signal de sortie du système de codage NRZ pour une séquence de données binaires présentes à l'entrée, compléter le graphe $s_{N2}(t)$ de la figure 1.3.

- 1.2.1.3 Sachant que les données binaires correspondent à une séquence périodique 111 000 111 000 etc..., exprimer la période T_{N2} en fonction de T_B , en déduire la fréquence F_{N2} (figure 1.3).
- 1.2.1.4 En supposant que l'on émette une très longue série de "1", quelles sont les caractéristiques du signal électrique obtenu (forme, valeur moyenne, fréquence) ?

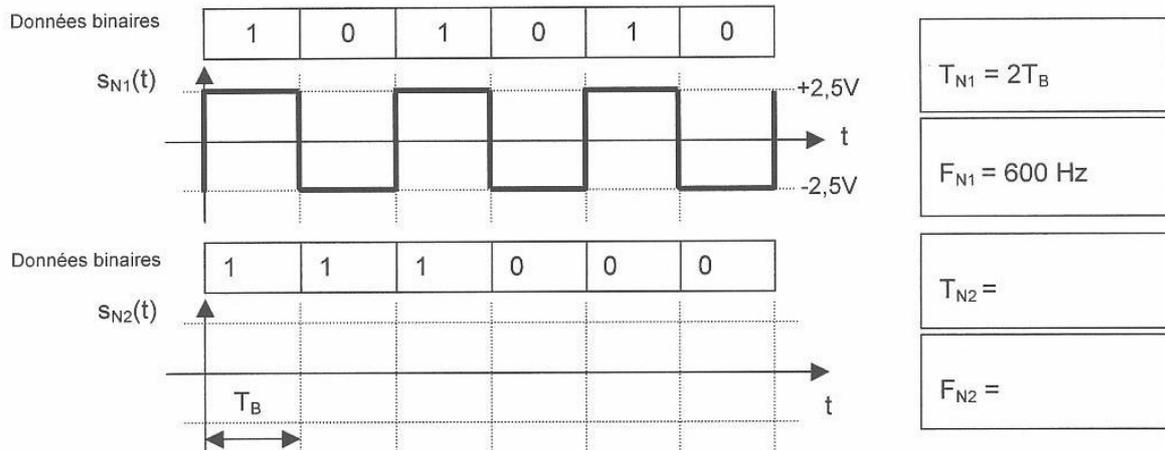


Figure 1-3

1.2.2 Codage Manchester

Ce codage est défini par:

Etat "1" : Front montant pendant la durée d'un bit (T_B).

Etat "0" : Front descendant pendant la durée d'un bit (T_B).

- 1.2.2.1 $s_m(t)$ représente le signal de sortie du système de codage Manchester pour une séquence de données binaires présentes à l'entrée, compléter les graphes $s_{M1}(t)$ et $s_{M2}(t)$ sur la figure 1.4.
- 1.2.2.2 Exprimer les deux périodes T_{M1} et T_{M2} des signaux en fonction de T_B . En déduire les fréquences F_{M1} et F_{M2} correspondantes.

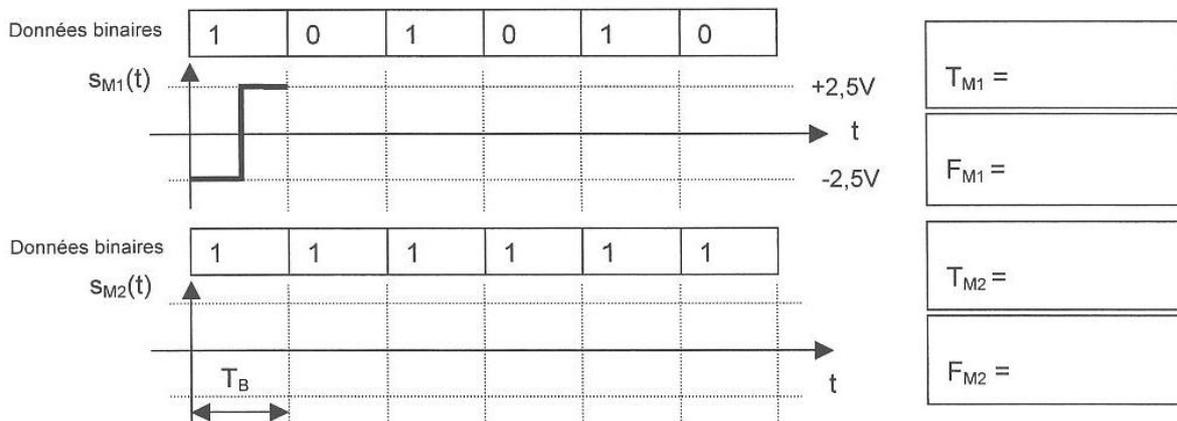


Figure 1-4

1.2.3 Spectres des codes NRZ et Manchester (figure 1.5)

La figure 1.5 représente la D.S.P (Densité Spectrale de Puissance) relative des signaux aléatoires codés N.R.Z et Manchester. L'encombrement spectral pourra être assimilé, ici, à la largeur du premier lobe de la D.S.P.

1.2.3.1 Estimer graphiquement l'encombrement spectral dans chaque cas : B_{NRZ} pour le codage NRZ, B_{MAN} pour le codage Manchester (répondre sur la figure)

1.2.3.2 Le critère de choix pour la carte étudiée est de minimiser l'encombrement en fréquence : quel est alors le codage le plus adapté ?

1.2.3.3 Si les critères de choix avaient été : la DSP doit être minimale en basse fréquence et avoir un certain niveau à la fréquence d'horloge (1200Hz) : quel codage serait le plus adapté ? Justifier la réponse

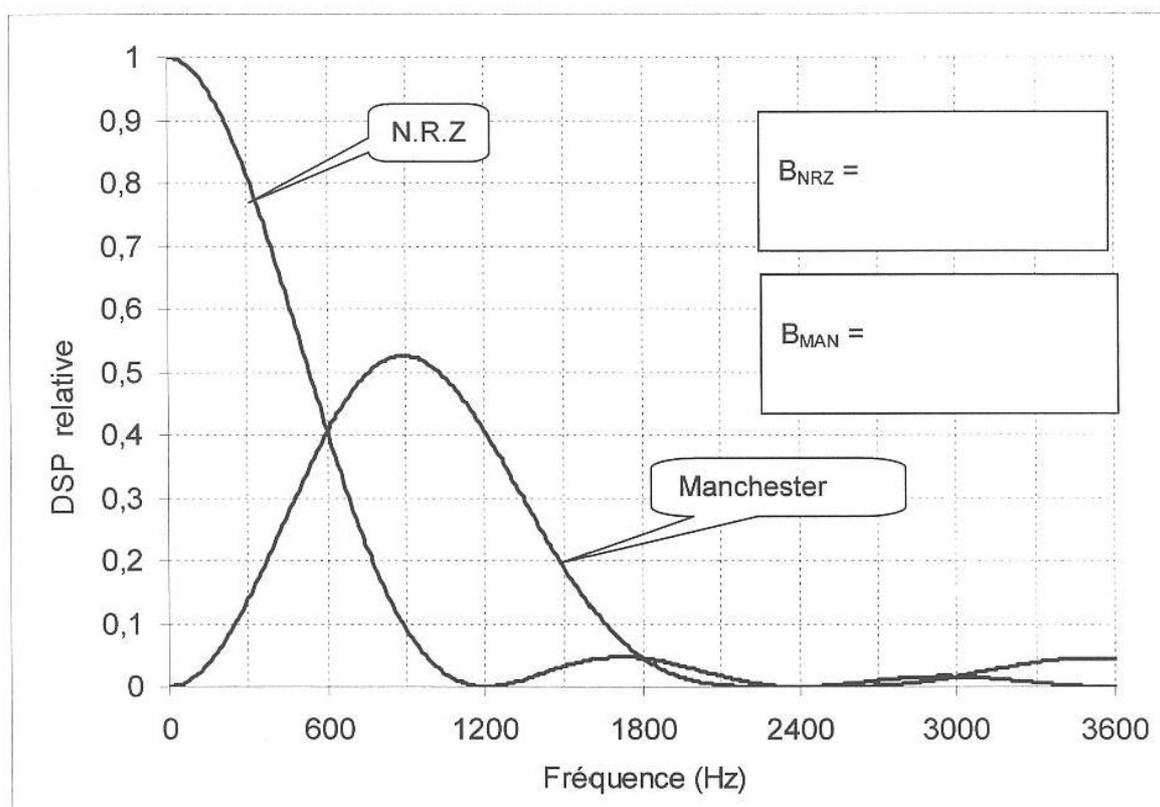


Figure 1-5

1.3 Conditionnement du signal NRZ

Afin de réduire l'encombrement spectral des signaux en bande de base, les impulsions sont conditionnées. La structure est représentée sur la figure 1.6.

Les amplificateurs linéaires intégrés (ALI) sont alimentés sous tension simple $+V = +6\text{ V}$.

Le signal d'entrée (FSK.EM) est un signal carré (0 à +5V) de fréquence 600Hz.

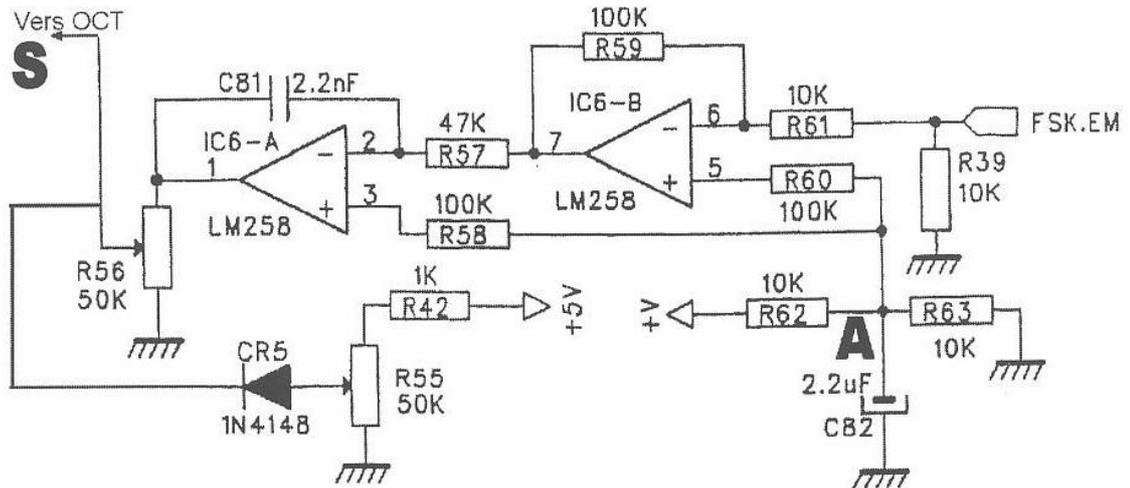


Figure 1-6

1.3.1 Etablissement d'un schéma simplifié

Les amplificateurs linéaires intégrés (du circuit LM258) sont considérés idéaux.

1.3.1.1 Calculer la tension au point A. En déduire la valeur de la tension V^+ sur les entrées 5 et 3 de IC6.

$V_A =$

$V^+ =$

Le schéma figure 1.7 est proposé pour étudier plus simplement la structure.

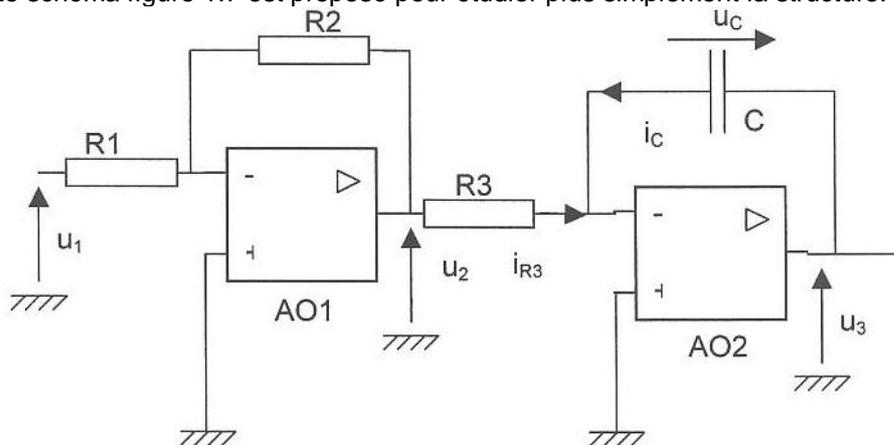


Figure 1-7

1.3.1.2 Donner les valeurs des composants suivants :

R1 =

R2 =

R3 =

C =

1.3.1.3 Quels sont les noms des deux fonctions présentes dans cette structure simplifiée ?

Amplificateur	AO1	AO2
Fonction réalisée		

1.3.1.4 Dans la structure simplifiée, l'origine des potentiels a changé. Compléter le tableau suivant :

Tension	V^+	V_{SATMIN}	V_{SATMAX}	FSK.EM _{MIN}	FSK.EM _{MAX}
Structure carte réelle		0 V	6V	0V	5V
Tension	V^+	$-V_{SAT}$	$+V_{SAT}$	U1 _{MIN}	U1 _{MAX}
Structure simplifiée	0 V				

1.3.2 Etude du schéma structurel simplifié

On s'intéresse à la deuxième fonction (amplificateur AO2). On suppose que cet amplificateur travaille en régime linéaire mais la sortie de l'amplificateur AO1 est, elle, saturée : $u_2(t) = -V_{SAT}$ durant cette étude (d'une durée d'une demi période).

1.3.2.1 Donner les expressions de i_{R3} et i_c en fonction des éléments du montage et rappeler la relation liant $i_c(t)$ et $u_c(t)$.

1.3.2.2 Soit k la vitesse de variation de la tension u_3 . Montrer que $k = \frac{du_3}{dt} = \frac{V_{SAT}}{R_3C}$

1.3.2.3 Calculer k et le temps ΔT nécessaire pour que la variation de la tension de sortie soit de $\Delta U_3 = 6V$? En déduire que, dans les conditions de fonctionnement envisagés, la tension de sortie sera saturée.

1.4 Analyse de Fourier du signal N.R.Z conditionné

Le but de cette partie est de mettre en évidence le rôle de l'étage de conditionnement dans la réduction du spectre du signal modulant.

Lors de la transmission de données, le cas le plus défavorable (d'un point de vue spectral) correspond à l'émission d'un train de données {101010...} à 1200 bps. Le signal peut être considéré comme périodique de fréquence $F_0 = 600\text{Hz}$ et donc décomposable en série de Fourier.

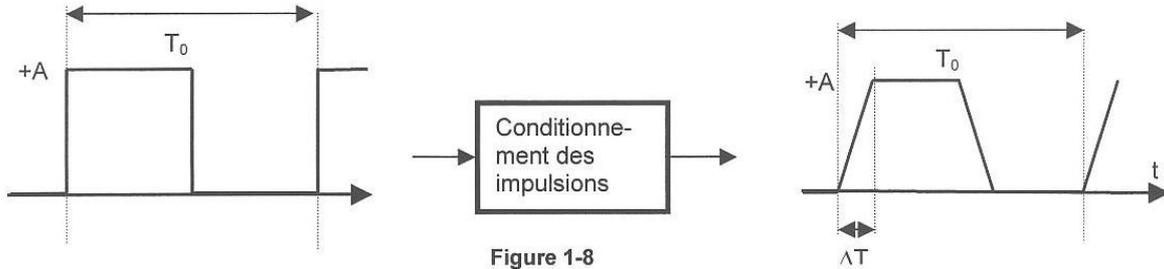


Figure 1-8

1.4.1 Signal N.R.Z initial.

Le signal est carré de période T_0 (figure 1.8)

Les coefficients des harmoniques de la décomposition en série de Fourier sont :

$$C_n = \frac{2A}{\pi} \frac{1}{n} \quad n \text{ étant impair: } n = 1 ; 3 ; 5 \dots ; \text{ Avec } A = 5V$$

Calculer la valeur de l'amplitude de l'harmonique à la fréquence 4200 Hz.

1.4.2 Signal N.R.Z conditionné.

Le signal obtenu est "trapézoïdal" (figure 1.8).

Les coefficients de la décomposition en série de Fourier sont :

$$C_n = \frac{2A}{\pi} \frac{1}{n} \frac{\sin(n\alpha\pi)}{n\alpha\pi} \quad n \text{ étant impair: } n = 1 ; 3 ; 5 \dots \alpha = \frac{\Delta T}{T_0} = 0,125 ; A = 5V$$

1.4.2.1 Calculer l'amplitude de l'harmonique à la fréquence 4200 Hz

On donne les amplitudes relatives C_n/C_1 des harmoniques :

Rang	1	3	5	7	9	11	13	15
Carré	1,00	0,33	0,20	0,14	0,11	0,09	0,08	0,07
Trapèze	1,00	0,27	0,10	0,02	0,01	0,02	0,01	0,00

1.4.2.2 On néglige les harmoniques dont l'amplitude est strictement inférieure à 10% de celle du fondamental ; donner pour chaque signal le rang du dernier harmonique pris en compte et en déduire une approximation de la bande de fréquence occupée par chaque forme.

Carré ($\leq 10\%$) Rang _{max} =

Trapèze ($\leq 10\%$) Rang _{max} =

B _{NRZ CAR} =

B _{NRZ TRAP} =

2 Synthèse de fréquence

2.1 Calcul du coefficient du diviseur de fréquence

On considère une boucle à verrouillage de phase avec un diviseur de fréquence placé dans la branche de rétroaction (voir figure 2.1)

On notera f_e , f_r et f_s respectivement les fréquences des signaux v_e , v_r et v_s .

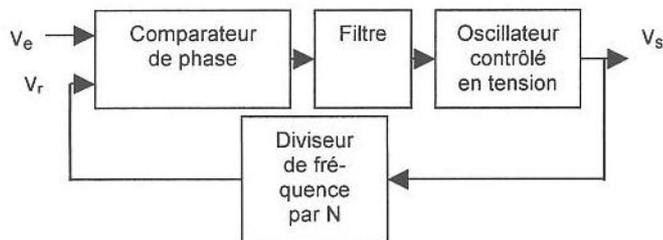
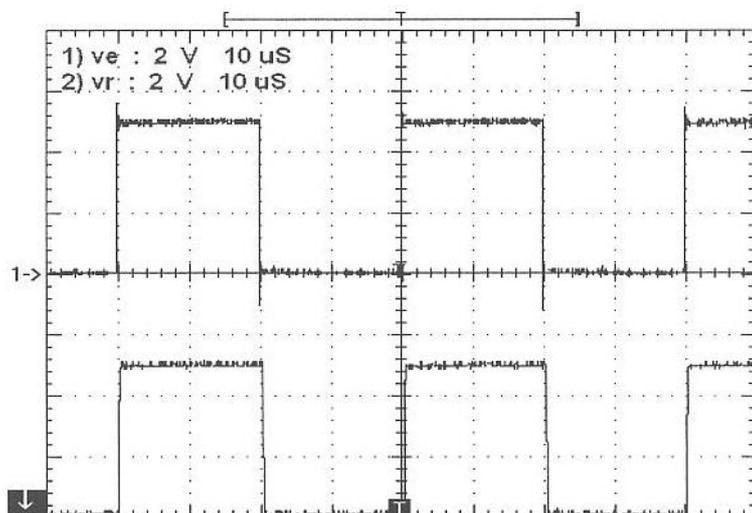


Figure 2-1

Dans les conditions de l'étude, les signaux v_e et v_r sont représentés sur la figure 2.2 :



v_e : trace supérieure

v_r : trace inférieure

Calibres :

2V par division

10 μ s par division

Figure 2-2

2.1.1 Quelle relation lie les fréquences f_e et f_r ? Que peut-on dire de l'état de la boucle ?

2.1.2 Déterminer la relation entre f_s et f_e .

2.1.3 Mesurer la fréquence f_e .

2.1.4 On utilise ce synthétiseur pour émettre sur une fréquence de 151,65 MHz. En déduire la valeur de N.

2.2 Etude du comparateur de phase

2.2.1 Caractéristique électrique.

Le comparateur de phase est du type "à pompe de charges" et il se comporte comme une source dont les caractéristiques sont données sur la figure 2.3 :

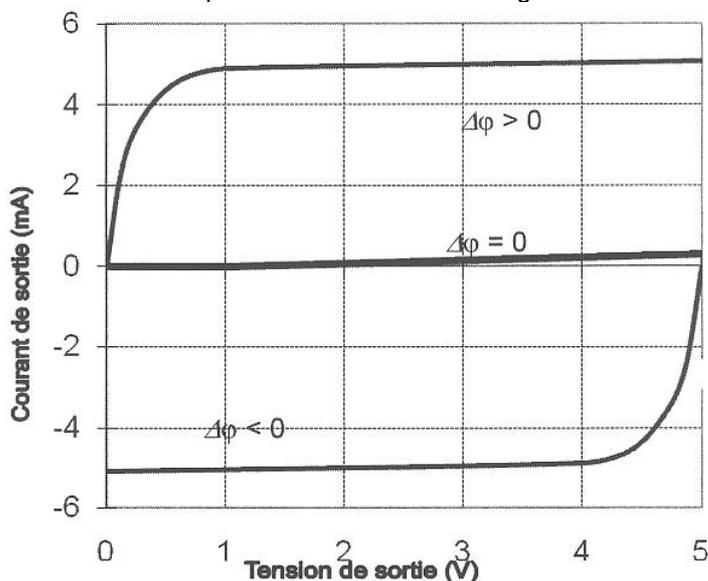


Figure 2-3

La tension de sortie du comparateur reste comprise entre les valeurs 1,6V et 1,9 V.

2.2.1.1 Cette source se comporte-t-elle comme un générateur de tension ou un générateur de courant ? Justifier.

2.2.1.2 En fonction de la différence de phase, quelles sont les diverses valeurs possibles du courant de sortie ?

2.2.2 Fonctionnement du comparateur

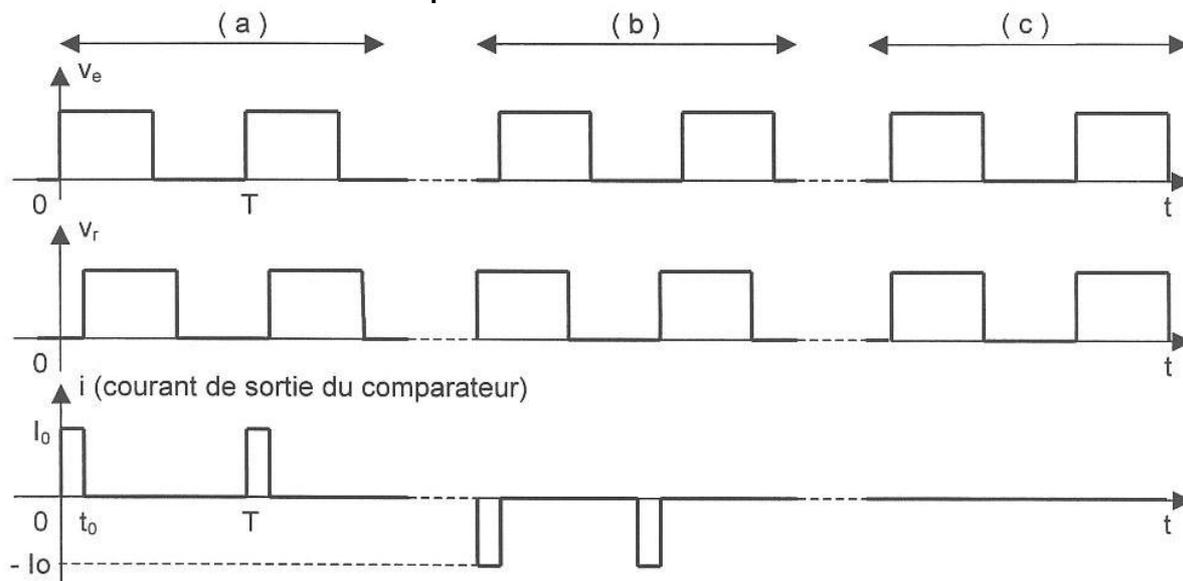


Figure 2-4

2.2.2.1 Dans quel cas de figure (2.4a, 2.4b ou 2.4c) peut on considérer que :

- Il n'y a pas de décalage temporel entre v_e et v_r ?
- v_e est en avance sur v_r ?
- v_e est en retard sur v_r ?

2.2.2.2 Les signaux v_e et v_r sont ceux comme indiqués dans la figure 2.4a. Soient v_{ef} et v_{rf} les fondamentaux respectifs de v_e et v_r ; ces fondamentaux sont de périodes T et on admettra qu'ils sont décalés temporellement de la même valeur t_0 que les signaux v_e et v_r

En appelant φ_e la phase de v_{ef} et φ_r la phase de v_{rf} , déterminer l'expression de la différence de phase entre v_{ef} et v_{rf} , $\Delta\varphi = \varphi_e - \varphi_r$ en fonction de t_0 et T .

2.2.2.3 Déterminer l'expression de la valeur moyenne I de i en fonction de I_0 , t_0 et T . En déduire l'expression de I en fonction de I_0 et $\Delta\varphi$.

2.2.2.4 En écrivant $I = K_\varphi \Delta\varphi$, calculer la valeur numérique de K_φ , en précisant son unité.

$K_\varphi =$

2.3 Etude du filtre

Le filtre de boucle a la structure suivante (voir figure 2.5) :

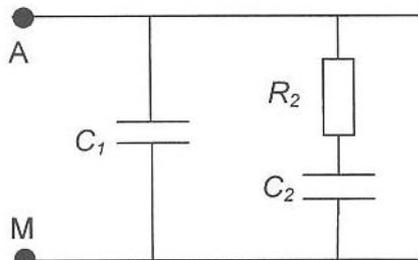


Figure 2-5

Pour les calculs suivants, on utilisera l'opérateur de Laplace p dont on rappelle qu'il s'identifie à $j\omega$ en régime sinusoïdal.

2.3.1 Exprimer les impédances $Z_1(p)$ et $Z_2(p)$ de la première et de la seconde branche du filtre.

2.3.2 Déterminer l'impédance $Z(p)$ entre A et M, en fonction de R_2 , C_1 , C_2 et p . Justifier que

l'on puisse écrire : $Z(p) = \frac{1 + \tau_2 p}{(C_1 + C_2)p(1 + \tau_1 p)}$ avec $\tau_1 = R_2 \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$ et $\tau_2 = R_2 C_2$

2.3.3 Application numérique: $R_2 = 15,4 \text{ k}\Omega$, $C_2 = 150 \text{ nF}$.
Calculer τ_2 ainsi que la fréquence de coupure f_2 correspondante.

$f_2 =$

2.4 Etude de la boucle complète

2.4.1 Schéma fonctionnel.

En réalité, le système étudié comporte un filtre placé en cascade derrière le filtre étudié précédemment. On admettra que sa présence ne modifie pas les calculs précédents. Ce filtre a la structure suivante (figure 2.6) :

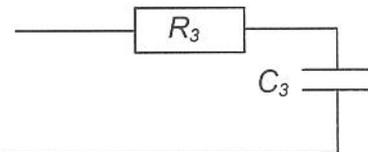


Figure 2-6

La modélisation fonctionnelle du synthétiseur de fréquence présenté sur la figure 1 (page 2) conduit au schéma fonctionnel suivant (figure 2.7) :

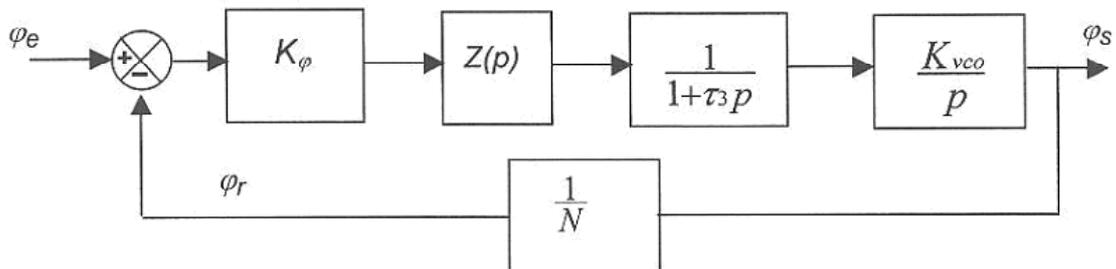


Figure 2-7

2.4.1.1 Justifier la présence du bloc de fonction de transfert $1/(1+\tau_3p)$.

2.4.1.2 Déterminer l'expression de la fonction de transfert en boucle ouverte FTBO(p) et la mettre sous la forme :

$$FTBO(p) = K \frac{1 + \tau_2 p}{p^2 (1 + \tau_1 p)(1 + \tau_3 p)}$$

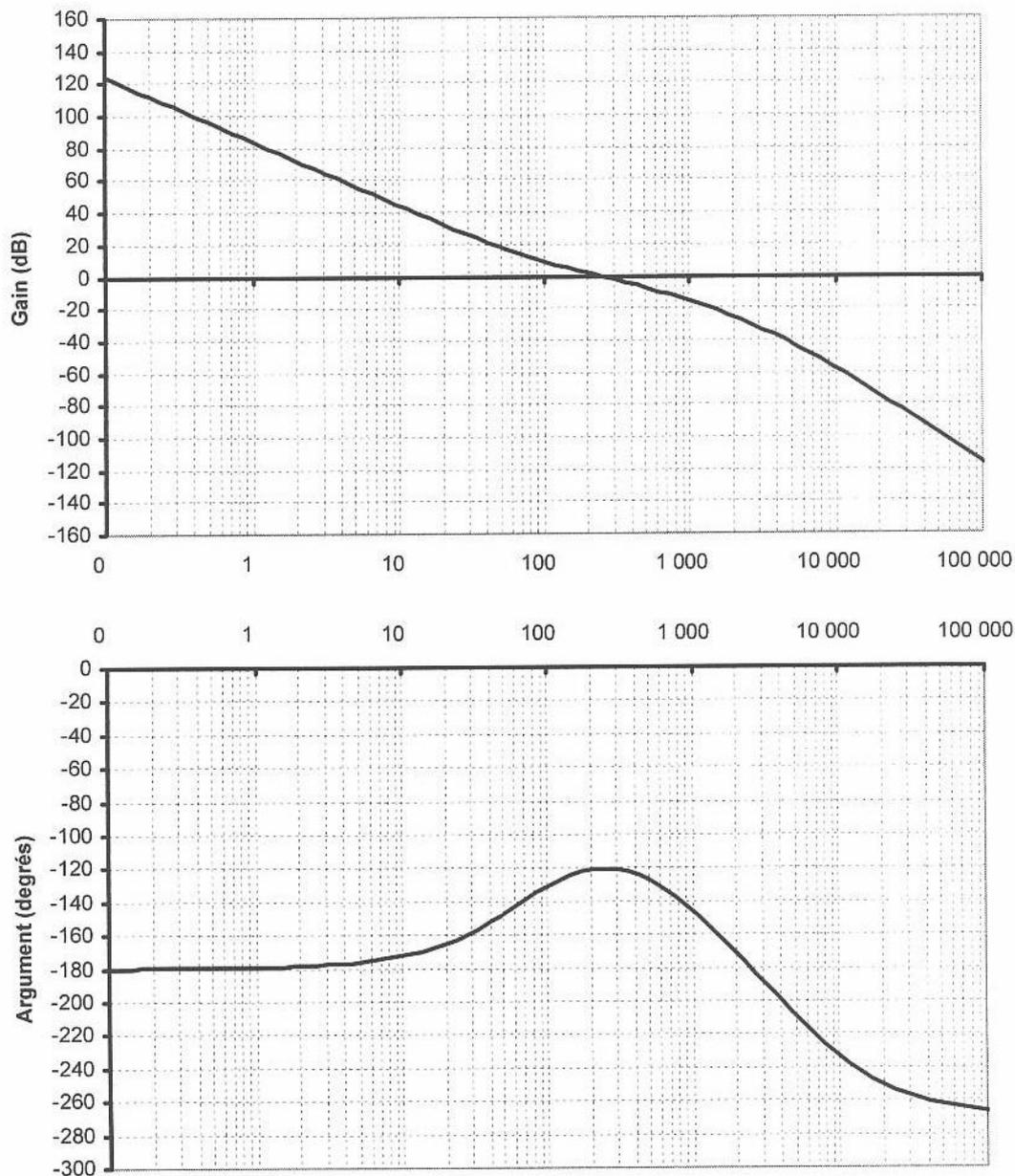
2.4.1.3 Déterminer l'expression de K en fonction de K_ϕ , K_{VCO} , N, C_1 et C_2

2.4.1.4 En déduire la valeur du condensateur C_1 sachant que le coefficient du VCO est $K_{VCO} = 7,85 \cdot 10^5 \text{ rad s}^{-1} \text{ V}^{-1}$ et que $K = 6,42 \cdot 10^5 \text{ s}^{-2}$

2.4.2 Degré de stabilité

Les diagrammes de Bode de la fonction de transfert $FTBO(j\omega)$ sont représentés sur la figure 2.8.

Figure 2-8



- 2.4.2.1 La fréquence de coupure f_3 correspondant à τ_3 est égale à 6 kHz. Positionner sur le graphique 2.8 les fréquences f_2 et f_3
- 2.4.2.2 Déterminer la valeur de la marge de phase et de la marge de gain (répondre sur la figure 2.8) en faisant apparaître la construction graphique utilisée.
- 2.4.2.3 Le degré de stabilité du synthétiseur est-il suffisant ?

2.4.2.4 C_1 restant constant, que devient la marge de phase si le coefficient K augmente ? Et que devient-elle si K diminue ? Que peut-on dire alors de la valeur de K ?

3 Perturbation et découplage en haute fréquence

3.1 Elimination de courant haute fréquence

Le coffret électronique comporte une carte "alimentation" qui fournit une tension continue de 5V pour alimenter la carte "communication". On s'intéresse à un circuit intégré logique de cette carte (figure 3.1).

Lors de transitions logiques un courant circule entre l'alimentation et le circuit intégré. Ce courant, de forme impulsionnelle possède des composantes hautes fréquences pouvant aller jusqu'à 200 MHz.

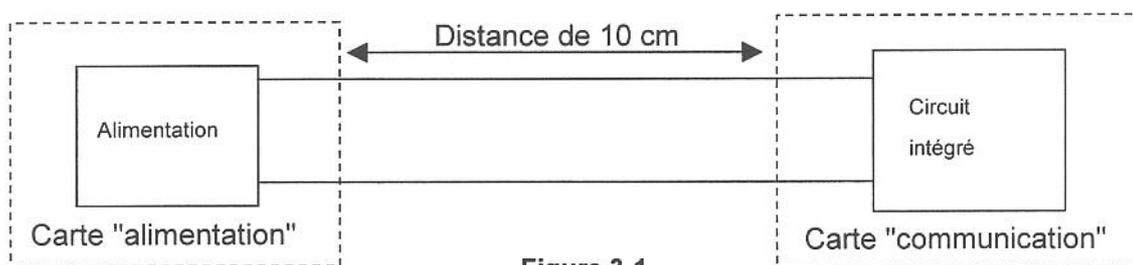


Figure 3-1

L'alimentation se comporte comme une source de tension, le circuit intégré se comporte comme une source de courant, et pour les hautes fréquences, un fil, même rectiligne, possède une impédance inductive caractérisée par une inductance linéique de l'ordre de $0,8 \mu\text{H}$ par mètre.

3.1.1 Quelle est, pour chaque fil, la valeur de son inductance ainsi que celle de son impédance à 200 MHz ?

3.1.2 Déterminer le schéma électrique équivalent du circuit de la figure 3.1.

3.1.3 Pourquoi évite-t-on la circulation de courants haute fréquence sur des distances importantes ?

3.1.4 Habituellement, on rajoute un composant pour éviter cette circulation de courant. Quel est ce composant, où doit-on le placer et comment choisir sa valeur ?

3.2 Condensateurs de découplage

L'oscillateur commandé en tension utilise un transistor MOS dont le drain doit être maintenu à potentiel constant. Ceci est réalisé par l'association des deux condensateurs C47 (4,7 μ F) et C50 (10 nF) (voir figure 3.2).

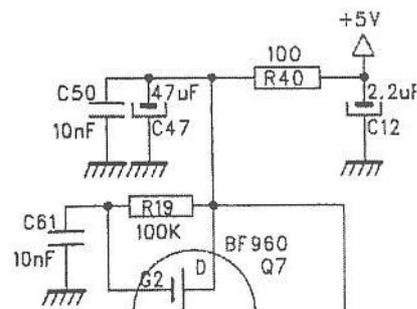


Figure 3-2

Les caractéristiques des condensateurs C47 et C50 sont données par les courbes suivantes :

Figure 3-1

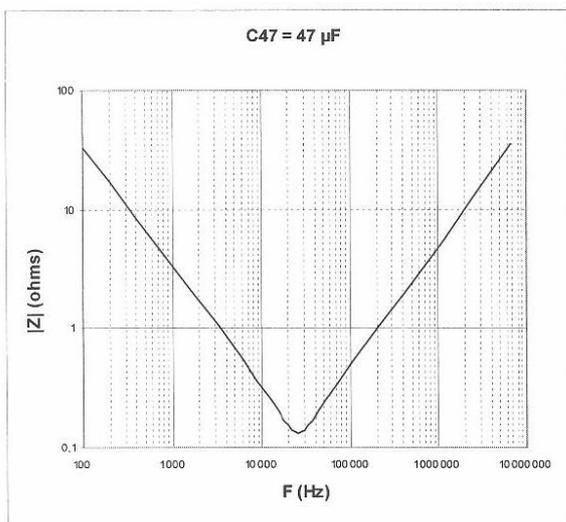
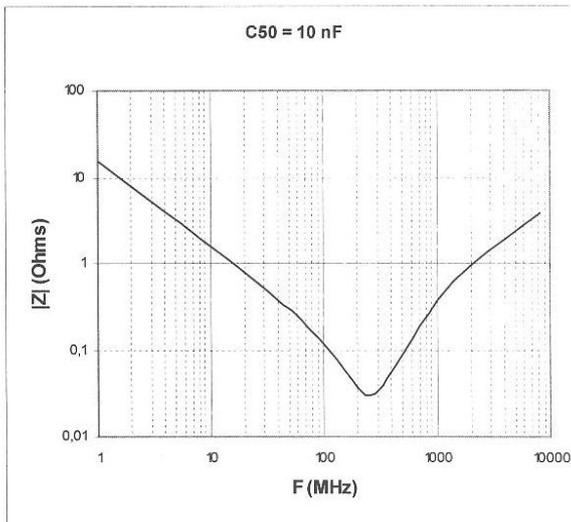


Figure 3-2



3.2.1 Quelle est la nature du condensateur C47 au delà de 100kHz ? Justifier.

3.2.2 Justifier l'ajout du condensateur C50.

4.1 Photométrie

La lumière est un rayonnement électromagnétique. Pour caractériser la puissance d'un rayonnement électromagnétique (souvent appelée flux énergétique), on utilise une unité énergétique telle que le Watt.

Mais lorsque ce rayonnement est destiné à être vu, on utilise les grandeurs photométriques qui tiennent compte de la courbe de sensibilité de l'oeil humain en fonction de la longueur d'onde (figure 4.1).

On utilise alors la grandeur flux lumineux dont l'unité est le lumen.

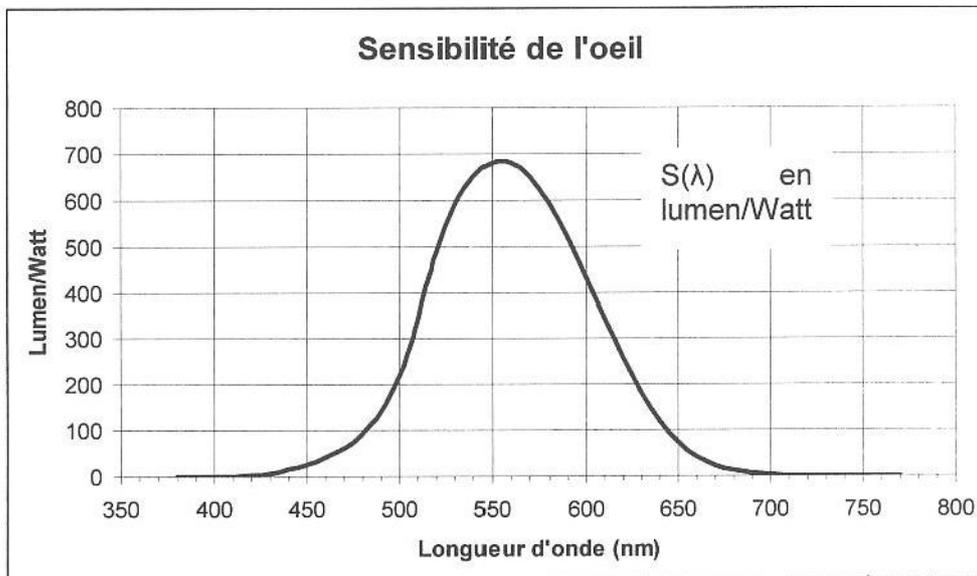


Figure 4-1

On représente cette opération par le schéma fonctionnel suivant (figure 4.2) :

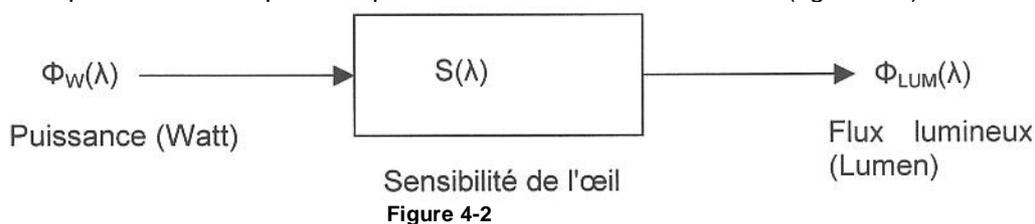


Figure 4-2

On rappelle les valeurs

- des longueurs d'onde de trois couleurs : $\lambda_{\text{BLEU}} = 490 \text{ nm}$; $\lambda_{\text{JAUNE}} = 580 \text{ nm}$; $\lambda_{\text{ROUGE}} = 660 \text{ nm}$
- de la vitesse de la lumière dans l'air : $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

Définition du lumen :

Une source qui émet un rayonnement de $(1/683) \text{ Watt}$ à la fréquence $f_L = 540 \cdot 10^{12} \text{ Hz}$ produit un flux de 1 lm (lumen).

**4.1.1 A quelle longueur d'onde correspond cette fréquence f_L ?
Placer ce point sur la figure 4.1.**

4.1.2 Placer sur le graphe les zones de rayonnement U.V. (ultraviolet) et IR. (infra rouge).

4.1.3 Déterminer la valeur de la sensibilité $S(\lambda)$ pour $\lambda = 500 \text{ nm}$.

4.1.4 En déduire le flux lumineux Φ_{LUM} d'une source qui émet une puissance $\Phi_{\text{W}} = 10\text{mW}$ à la longueur d'onde de 500nm .

4.1.5 Quel serait le flux lumineux pour une longueur d'onde de 900nm ? Justifier ce résultat.

4.2 Spectres d'émissions

Dans les balises maritimes, les lampes à incandescence sont progressivement remplacées, notamment par les LED. Le but de cette partie est de comparer leurs spectres d'émission

4.2.1 Spectre d'émission de la LED de la balise étudiée

Sur la figure 4.3 est représenté le spectre de la LED.

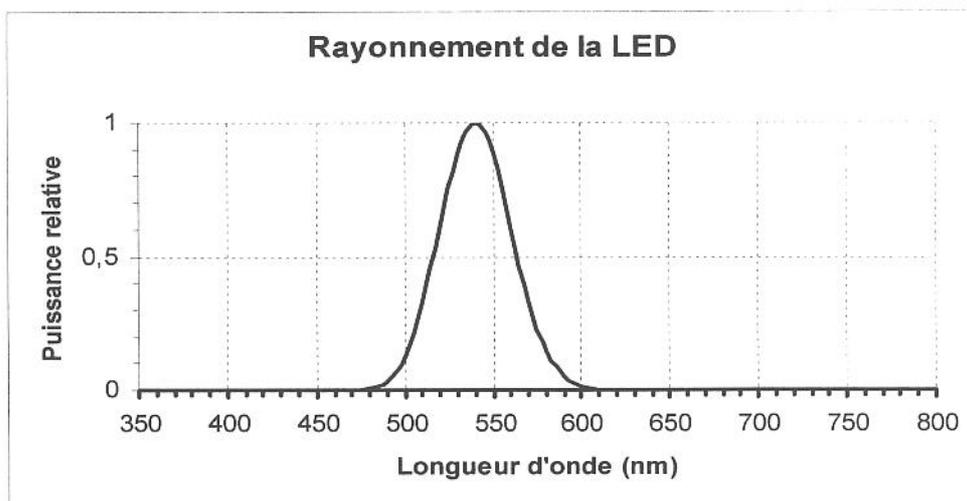


Figure 4-3

4.2.1.1 Quelle est la couleur dominante de cette LED ?

On rappelle à nouveau les données : $\lambda_{\text{BLEU}} = 490 \text{ nm}$; $\lambda_{\text{JAUNE}} = 580 \text{ nm}$; $\lambda_{\text{ROUGE}} = 660 \text{ nm}$

4.2.1.2 La totalité du rayonnement est-il visible ?

4.2.2 Spectre d'émission d'une lampe à incandescence.

Sur la figure 4.4 est représenté le spectre relatif d'émission d'une lampe à incandescence.

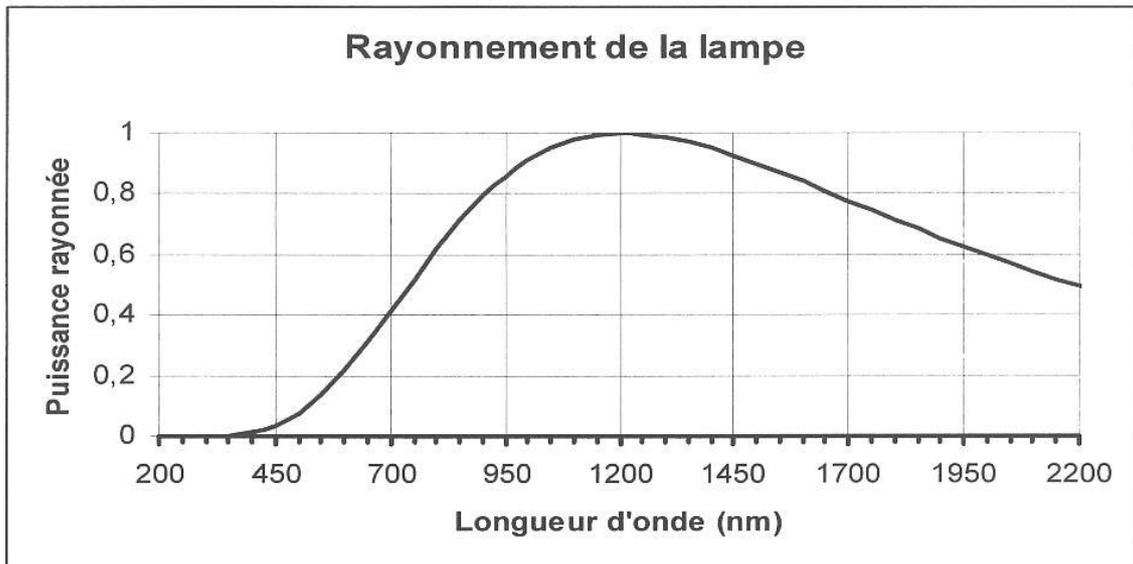


Figure 4-4

4.2.2.1 Représenter en hachuré sur cette figure, la zone du rayonnement visible.

4.2.2.2 Dans quelle zone du spectre se situe le maximum du rayonnement ? (Visible, IR, UV ?)

4.2.2.3 Sous quelle forme est ressenti ce rayonnement ?