

I. Acquisition d'un électro-oculogramme :

Une électro-oculographie (EOG) est un examen médical dont le but est d'enregistrer l'activité de l'œil. C'est électro-oculogramme (EOG). Pour le réaliser, on utilise des électrodes collées à l'angle externe des yeux du patient. L'électro-oculogramme permet d'analyser la dynamique, l'amplitude, le gain et la phase des saccades de la poursuite oculaire (Figure 1).

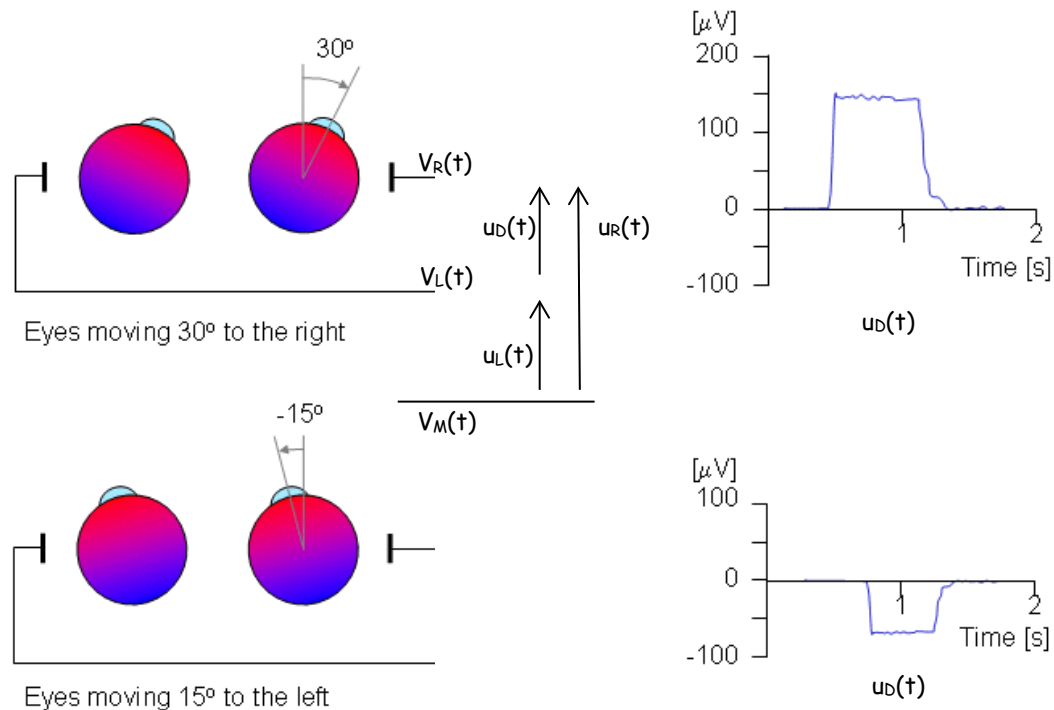


Figure 1 Principe de la mesure du signal EOG.

Le potentiel $v_M(t)$ est choisi comme référence pour l'électronique de mesure ainsi que pour l'ensemble des tensions. La différence de potentiel entre l'œil droit et la masse est telle que :

$$u_R(t) = v_R(t) - V_M(t)$$

De même, la tension entre l'œil gauche et la référence de tension est notée :

$$u_L(t) = v_L(t) - V_M(t)$$

A. Amplification du signal EOG:

1. Principe de l'amplification différentielle :

La source de tension $u_D(t)$ correspond à l'information qui traduit l'activité oculaire ; c'est le signal EOG présenté Figure 1. Son amplitude est faible, de l'ordre du millivolt. Entre les points de contact R et L et la masse, le comportement électrique du patient peut être modélisé par les relations suivantes.

- la tension différentielle $u_d(t)$ par la relation : $u_d(t) = u_R(t) - u_L(t) = u_{EOG}(t)$
- la tension de mode commun $u_{mc}(t)$ par la relation : $u_{mc}(t) = (u_R(t) + u_L(t))/2$

La source de tension $u_{mc}(t)$, caractérise l'ensemble des perturbations qui peuvent altérer la mesure. Ils ont pour origine :

- l'activité bioélectrique du corps humain (muscles, respiration ...)
- l'électronique entourant le patient

La valeur crête de $u_{mc}(t)$ peut être importante, de l'ordre de quelques volts. Pour amplifier le signal EOG, on utilise un amplificateur différentiel dont le modèle mathématique est donné ci-dessous.

$v_s = A_d u_{EOG} + A_{MC} u_{mc}$ avec $v_{SEOG} = A_d u_{EOG}$ la composante différentielle en sortie de l'amplificateur différentielle et $v_{SMC} = A_{MC} u_{mc}$ la composante commune en sortie.

Le taux de réjection de mode commun : $TRMC = 20 \log \frac{A_d}{A_{MC}}$ donne une indication de la réjection du mode commun par rapport au mode différentiel.

Dans les conditions de mesure signal EOG au niveau des tensions $u_L(t)$ et $u_R(t)$ est tel que le signal utile est noyé dans le mode commun. On donne $U_{mc}=1,700V$ et $U_{EOG}=0,150mV$ la tension efficace d'entrée différentielle et la tension efficace d'entrée de mode commun. En sortie, on note la composante différentielle efficace V_{SEOG} et la composante commune V_{SMC} , sa valeur efficace, qui correspond au bruit de sortie. Pour la suite on prendra pour l'amplification différentielle : $A_d=6000$ et $A_{MC}=0,8$ pour l'amplification de mode commun.

On souhaite évaluer l'action de l'amplificateur différentiel sur le rapport signal utile sur mode commun avant et après l'amplificateur d'instrumentation.

Le rapport signal sur bruit à l'entrée de l'amplificateur est noté : $R_{SN}^E = 20 \cdot \log \left(\frac{U_{EOG}}{U_{mc}} \right)$ dB et le rapport signal sur bruit à la sortie de l'amplificateur est noté : $R_{SN}^S = 20 \cdot \log \left(\frac{V_{SEOG}}{V_{SMC}} \right)$ en dB.

- Montrer que la relation liant R_{SN}^E , R_{SN}^S et $TRMC$ est : $R_{SN}^S = R_{SN}^E + TRMC$.
- Calculer la tension efficace V_{SEOG} et V_{SMC} , en sortie de l'amplificateur différentiel. Que peut-on en conclure ?
- Calculer les valeurs numériques de R_{SN}^E , R_{SN}^S et $TRMC$.
- Quelle modification faut-il faire pour améliorer l'amplification différentielle ?
- Dans le cas où $A_d=6000$ et $A_{MC}=0,02$, calculer à nouveau la tension efficace V_{SEOG} , V_{SMC} , R_{SN}^E , R_{SN}^S et $TRMC$. Que peut-on en conclure ?
- Dans le cas d'un amplificateur différentiel idéal, que vaut A_{mc} ? Que peut-on dire de la valeur du $TRMC$?

2. Etude d'un l'amplificateur d'instrumentation :

L'amplificateur différentiel est réalisé à l'aide de la structure décrite Figure 2. Les tensions $u_L(t)$ et $u_R(t)$ sont appliquées aux entrées de l'amplificateur.

- Les amplificateurs opérationnels étant idéaux et fonctionnant en régime linéaire, que peut-on dire de l'intensité des courants d'entrée I^+ et I^- et des différences de potentiels $\varepsilon = v^+ - v^-$?

Pour le premier étage, on recherche une relation liant les tensions $v_1(t)$ et $v_2(t)$ aux tensions d'entrée $u_L(t)$ et $u_R(t)$.

- Exprimer la différence de potentiel $v_g(t)$ aux bornes de R_g en fonction de $u_L(t)$ et $u_R(t)$. Puis exprimer $v_g(t)$ en fonction de $i_g(t)$ et R_g .
- Déterminer la relation donnant la différence de potentiel $v_1(t)$ et $v_2(t)$ en fonction de R , R_g et $i_g(t)$.
- Montrer alors que : $v_2(t) - v_1(t) = A \cdot (u_{EOG}(t))$. Identifier A en fonction des résistances R et R_g .

Pour le deuxième étage, on recherche une relation liant la tension $v_s(t)$ aux tensions $v_1(t)$ et $v_2(t)$.

- Exprimer $v^*(t)$ en fonction de $v_2(t)$, $v_{Comp}(t)$ et a .
- Déterminer l'expression de $v_A(t)$ en fonction de a , $v_1(t)$ et $v_s(t)$.

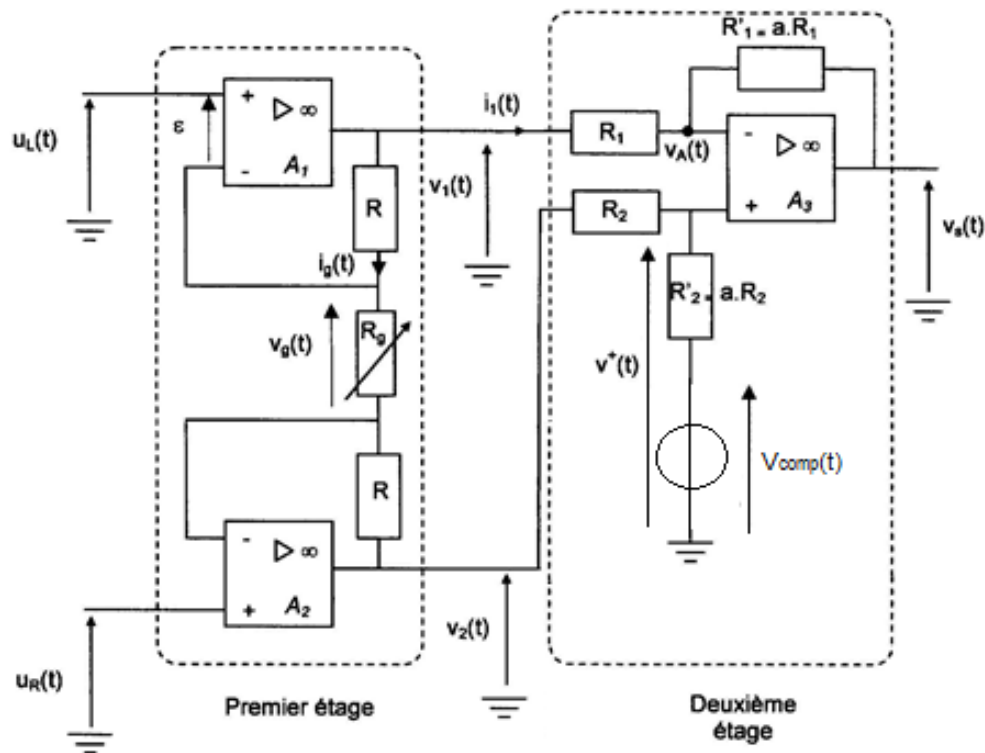


Figure 2 : L'amplificateur d'instrumentation.

- En déduire l'expression de $v_S(t)$ en fonction de a , $v_1(t)$, $v_2(t)$, $V_{comp}(t)$.
- Montrer finalement que : $v_S(t) = B \cdot (u_{EOG}(t)) + C \cdot V_{comp}(t)$. Identifier B et C en fonction des résistances R , R_g et a .
- En déduire l'expression de l'amplification globale : $A_d = \frac{v_S}{u_d}$ (on suppose $V_{comp}(t)=0$).
- On souhaite obtenir $A_d = \frac{v_S}{u_d} = 6000$ Calculer R_g . On prend $a=100$ et $R=25k\Omega$.

3. Mesure du mode commun et mode différentiel :

Dans les conditions de mesure d'électro-oculogramme, on souhaite mesurer le mode commun et le mode différentiel.

Pour cela on utilise la relation suivante :

$$v_S = A_d u_{EOG} + A_{MC} u_{mc} = A_{V2} u_R(t) - A_{V1} u_L(t).$$

- Comme on l'a vu précédemment, la tension de mode commun d'entrée est source d'erreur en sortie de l'amplificateur d'instrumentation. Citer au moins deux origines électriques de cette tension de mode commun.
- Expliquer l'intérêt de la transmission de l'information sur deux fils, de manière différentielle
- Identifier A_{V1} et A_{V2} en fonction de A_d et A_{MC} .
- Identifier A_d et A_{MC} en fonction de A_{V1} et A_{V2} .
- A quelle condition sur A_{V1} et A_{V2} ce montage amplifie-t-il uniquement la différence :
 $v_S(t) = A_d \cdot u_{EOG}(t)$?
- Expliquer comment procéder pour mesurer A_{V1} et A_{V2} .
- Même question pour A_d et A_{MC} . On rappelle que l'amplification différentielle étant très grande, on ne peut pas la mesurer directement ($u_{EOG}(t) \approx 1\text{mV}$)

- h) Compléter le schéma du **document réponse n°1** et à l'aide de source(s) et d'appareil(s) de mesure adéquate, de façon à pouvoir mesurer l'amplification de mode commun.
- i) Compléter le schéma du **document réponse n°2** à l'aide de source(s) et d'appareil(s) de mesure adéquate, de façon à pouvoir mesurer l'amplification différentielle.

B. Réduction du mode commun :

1. Influence du premier étage sur la mode commun :

On désire analyser l'influence du premier étage de l'amplificateur d'instrumentation donnée figure 2 sur le mode commun comparé au mode différentiel. Pour cela on relie les entrée R et L : $u_R(t) = u_L(t) = u_{mc}(t)$.

- a) Montrer que dans ces conditions $i_g(t)=0$.
- b) En déduire la relation liant les tensions de sortie du 1^{er} étage $v_1(t)$, $v_2(t)$ et $u_{mc}(t)$. Quelle est l'influence du 1^{er} étage sur la tension de mode commun ?
- c) L'amplification différentielle du premier étage étant de 60, que peut-on dire de l'évolution de la composante commune comparée à la composante différentielle en fonctionnement normal.

2. Principe de l'électrode de référence :

En fonctionnement normal, afin de réduire le mode commun, on utilise la structure ci-dessous figure 3. On donne les relations entre $v_1(t)$, $v_2(t)$ et $u_{EOG}(t)$, $u_{mc}(t)$: $v_1(t)=30.u_{EOG}(t) + u_{mc}(t)$ et $v_2(t)= u_{mc}(t) - 30.u_{EOG}(t)$

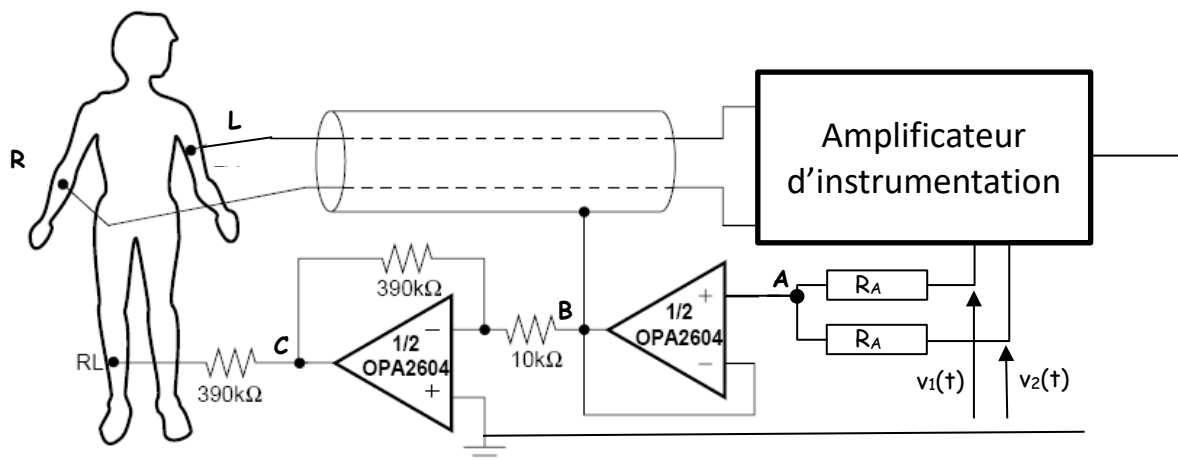


Figure 3 : Electrode de référence

- a) Exprimer la tension au point A (voir fig. 3) en fonction de $u_{mc}(t)$. En déduire la tension en B. Quel est le rôle de l'amplificateur opérationnel OPA2604 situé entre A et B.
- b) Déterminer la relation entre les tensions aux points C et B notées respectivement $V_B(t)$ et $V_C(t)$. En déduire $V_C(t)$ en fonction de $u_{mc}(t)$ (utiliser les valeurs numériques des résistances).
- c) On estime la résistance du corps à $10k\Omega$ au niveau de l'électrode de référence RL. Exprimer la tension $V_{RL}(t)$ en fonction de $V_C(t)$ puis de $u_{mc}(t)$. On suppose que l'on peut modéliser le montage par un pont diviseur de tension ($10k\Omega$ et $390k\Omega$).
- d) Expliquer l'intérêt de ce montage.

C. Compensation de la composante continue :

En réalité le signal est composé du signal utile $u_{EOG}(t)$ plus une petite composante continue qui évolue lentement. Ce qui donne en sortie : $v_S(t)=6000.u_{EOG}(t) + U_0 + V_{comp}(t)$

La tension de $V_{comp}(t)$ sert en permanence à compenser cette composante continue U_0 de tel façon que l'on ait finalement : $v_S(t)=6000.u_{EOG}(t)$ avec $U_0 + V_{comp}(t) = 0$.

Pour réaliser cette opération, on utilise le montage de la figure 7 dont on essaie de comprendre le fonctionnement.

On donne la relation : $i = C \frac{du_c}{dt}$.

- 1) Donner la relation liant i , R_0 et v_S .
- 2) Donner la relation liant V_{comp} et u_c .
- 3) En déduire la relation liant V_{comp} , R_0 , C et v_S .
- 4) Montrer que l'on peut écrire : $V_{comp} = k \int v_S dt$. Identifier k . Quelle est la fonction réalisée par le montage?
- 5) Que devient cette équation dans le cas où $v_S = U_0$ (on néglige $u_{EOG}(t)$ dont les variations sont beaucoup trop rapides par rapport à U_0).
- 6) Expliquer comment ce montage permet d'assurer la condition $v_S(t) = 6000 \cdot u_{EOG}(t)$ quel que soit U_0 .

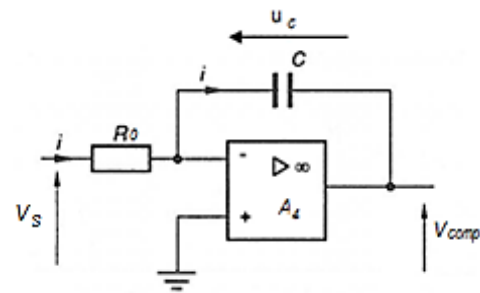
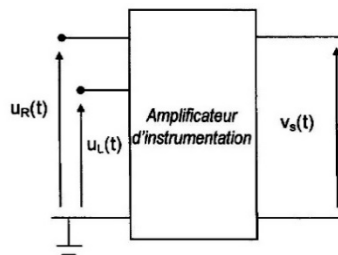
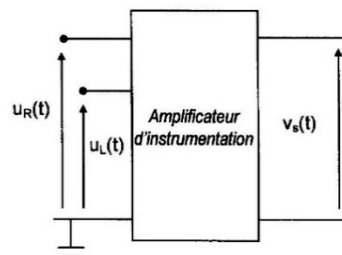


Figure 4 : Compensation



Document réponse n°1 :



Documents réponse n°2

D. Echantillonnage du signal EOG :

On souhaite désormais dimensionner la numérisation du signal EOG.

1. Choix de la fréquence d'échantillonnage :

Désormais, on considère que l'information utile du signal EOG est comprise dans la bande de fréquence $[0; F_{\text{Max}}]$ avec $F_{\text{Max}}=30 \text{ Hz}$.

- D'après la condition de Shannon, à partir de quelle fréquence $F_{e\text{Min}}$ est-il possible d'échantillonner $v_s(t)$ sans altérer le signal EOG? $F_{e\text{Min}}$ est la fréquence minimale à partir de laquelle l'échantillonnage est correct.

Pour des raisons technologiques, la fréquence d'échantillonnage retenue est : $F_e=82 \text{ Hz}$.

2. Conséquences d'une prise d'échantillon sans filtre anti-repliement :

On considère deux harmoniques parasites issus de la tension secteur, de fréquence $f_1=50\text{Hz}$ et $f_2=100\text{Hz}$. On donne Figure 5 le spectre du signal à échantillonner.

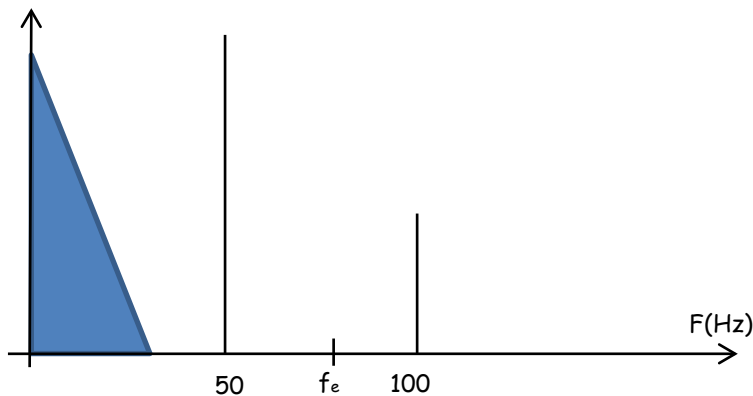


Figure 5 : Spectre simplifié du signal EOG parasité

On souhaite mettre en évidence les précautions à prendre pour assurer une prise correcte d'échantillons portant sur la tension $v_s(t)$ issue de l'amplificateur d'instrumentation.

Pour cela on veut déterminer le spectre du signal échantillonné.

- Compléter sur le document réponse n°3 le spectre du signal échantillonné. Faire apparaître les fréquences images. Justifier la présence des raies aux fréquences 18Hz et 32Hz.
- Les fréquences f_1 et f_2 vérifient-elles la condition de Shannon ?

3. Filtrage anti-repliement

Pour éviter les phénomènes de repliement de spectre liés à l'échantillonnage, on souhaite intercaler un filtre passe-bas avant et le convertisseur analogique numérique.

- Pour une fréquence d'échantillonnage de 82 Hz, déterminer la nature du filtre.
- Pour la fréquence d'échantillonnage choisie, quelle doit-être la valeur de la fréquence de coupure du filtre anti-repliement ? La bande passante du filtre anti-repliement est-elle compatible avec l'occupation spectrale du signal EOG ?
- Pour les filtres passe-bas de Butterworth, en régime harmonique, les transmittances de module $T_n(f)$ sont définies par la relation suivante : $T(f) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^{2n}}}$ avec n l'ordre du filtre. Quel doit être

l'ordre n du filtre permettant d'atténuer le 50 Hz de -40dB. Justifier votre affirmation.

- Dans ce cas, compléter sur le document réponse n°4 le spectre du signal échantillonné. Faire apparaître les fréquences images. Conclure sur la qualité de l'échantillonnage.

E. Conversion analogique-numérique :

Le signal EOG amplifié et filtré est placé à l'entrée d'un CAN. A chaque niveau de tension est associé une valeur binaire codée sur 8 bits. La tension pleine échelle est $V_{PE}=5V$.

- 1) Définir et déterminer le pas de quantification q .
- 2) Dans le cas d'un convertisseur centré déterminer l'erreur de quantification maximale.
- 3) Dans le cas d'une tension à convertir de 1,8V, calculer le nombre en entier naturel fourni en sortie du CAN.

II. Électroencéphalogramme 4 voie:

Lors de l'échantillonnage de signaux EEG, on utilise une carte d'acquisition possédant un multiplexeur 4 voies et un seul convertisseur analogique numérique (CAN). Le multiplexeur est commandé par les signaux P10 et P11 cadencés par une horloge. On donne ci-contre la table de vérité du multiplexeur ainsi que l'allure des signaux EEG. Le CAN effectue pendant chaque période d'horloge la conversion du signal sélectionné par P10 et P11.

P10	P11	Voie
0	0	4
1	0	3
0	1	2
1	1	1

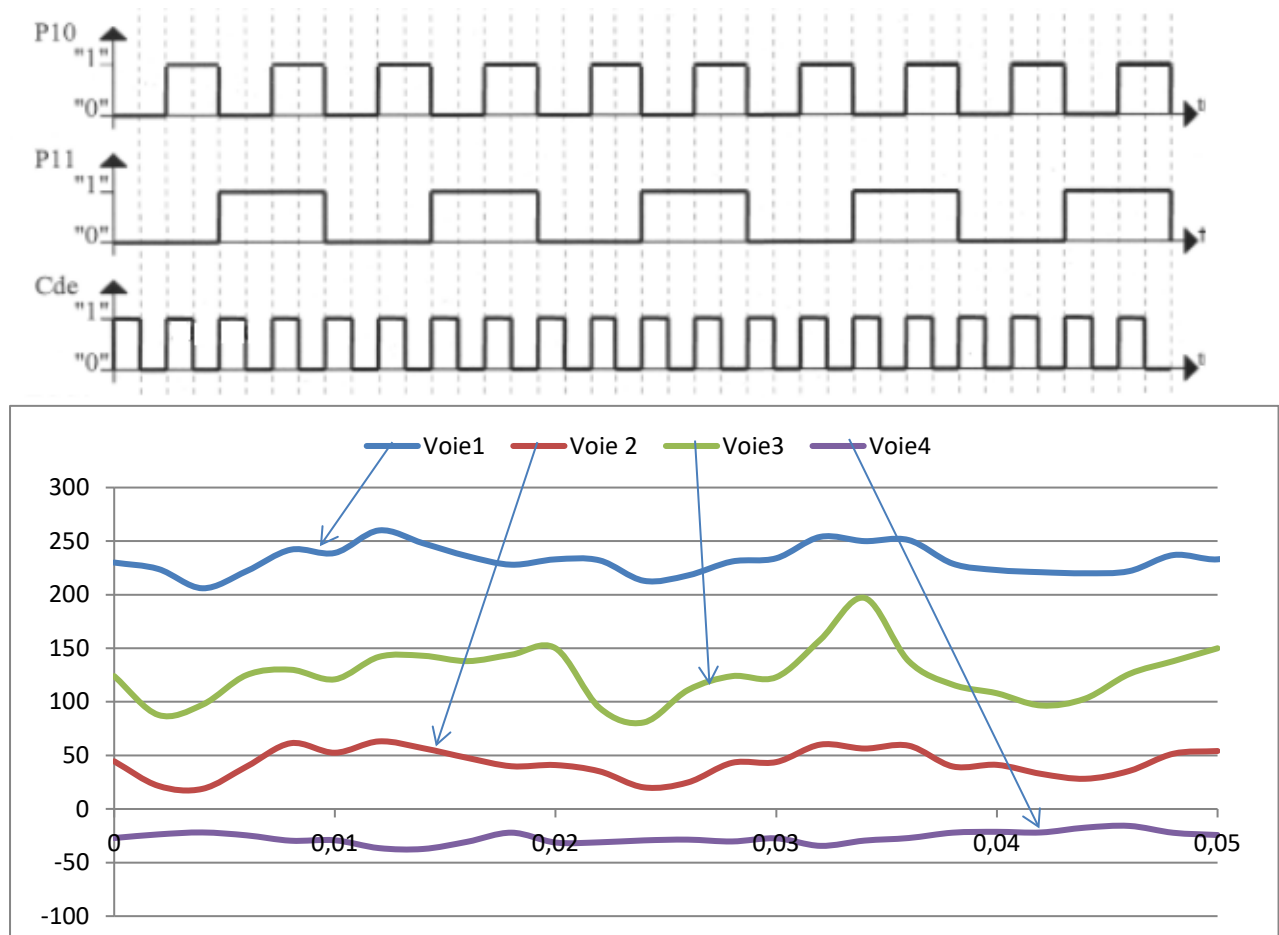


Figure 6 : Signaux EEG 4 voies

Figure 7: Signaux de commande multiplexeur CAN

- a) Déterminer la fréquence d'échantillonnage du CAN.
- b) Tracer sur le document réponse n°5 l'allure du signal à l'entrée du CAN.
- c) Calculer la fréquence d'échantillonnage effective par voie.

III. Transmission signal binaire : modulation-Démodulation d'amplitude A.S.K (On Off Keying-OOK).:

Dans une modulation ASK, à chaque symbole binaire est associée une amplitude.

A. Principe :

Dans ce cas, la modulation à 2 symboles (2 états binaires), la porteuse $u_p(t) = A \cos(2\pi f_p t + \varphi)$ est simplement multipliée par le signal numérique $a_n(t)$: $s(t) = a_n(t) \cdot A \cos(2\pi f_p t + \varphi)$ (fig. 8). On donne figure 9 l'allure de la porteuse $u_p(t)$.

- 1) Donner la valeur de la fréquence porteuse.
- 2) Pour une fréquence binaire de 1000 bit/s compléter l'allure de $s(t)$ sur le document réponse n°6 à partir de

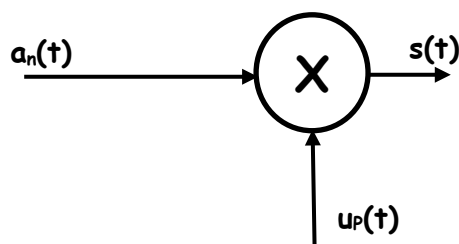
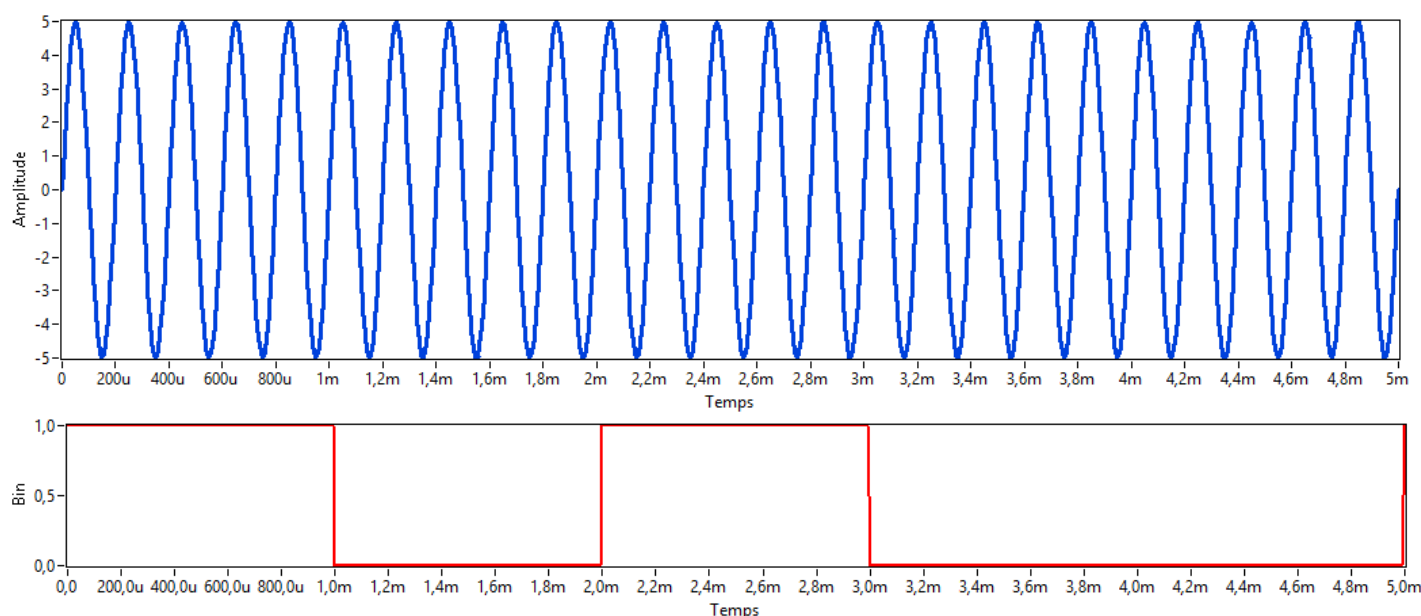


Figure 8: Principe modulation OOK



la séquence aléatoire donnée.

Figure 9 : Fréquence porteuse et message binaire

A. Spectre du signal modulé :

On donne le spectre du signal modulé (fig. 10) en fonctionnement normal. Ce spectre nous permet de tirer quelques informations.

- A partir du graphe de la figure 10, déterminer les éléments caractéristiques du signal modulé ASK.

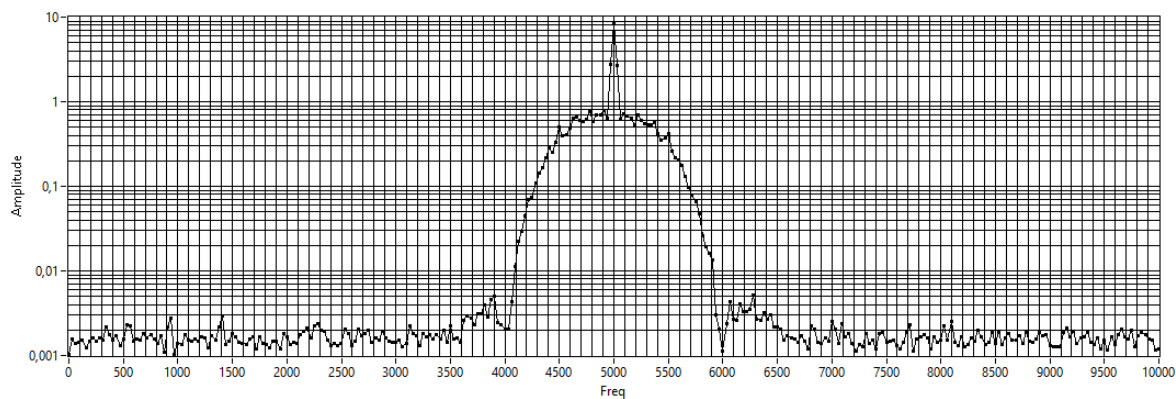


Figure 10 : Spectre du signal modulé

B. La démodulation ASK :

La démodulation consiste à multiplier le signal modulé $s(t)$ par la porteuse $U_p(t)$. On donne l'expression de la porteuse et celle du signal modulé:

$$u_p(t) = A \cos(2\pi f_p t) \text{ et } s(t) = a_n(t) \cdot A \cos(2\pi f_p t).$$

- 1) Montrer que le résultat de la multiplication peut se mettre sous la forme :
 $u_{DEM}(t) = A[\cos(Bt) + C]$. Identifier A, B et C.
- 2) Que faut-il faire pour récupérer uniquement le signal $a_n(t)$.

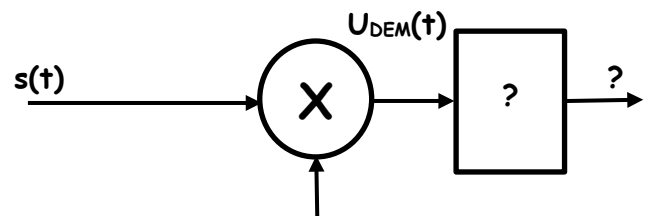
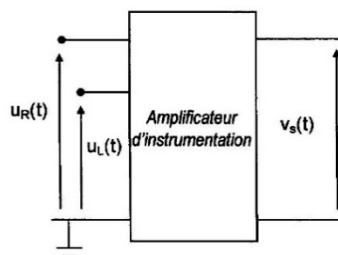


Figure 11 : Démodulateur BPSK

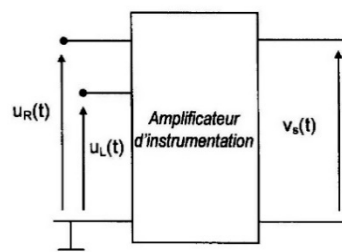
Documents réponses

Nom :

Prénom :



Document réponse n°1 :



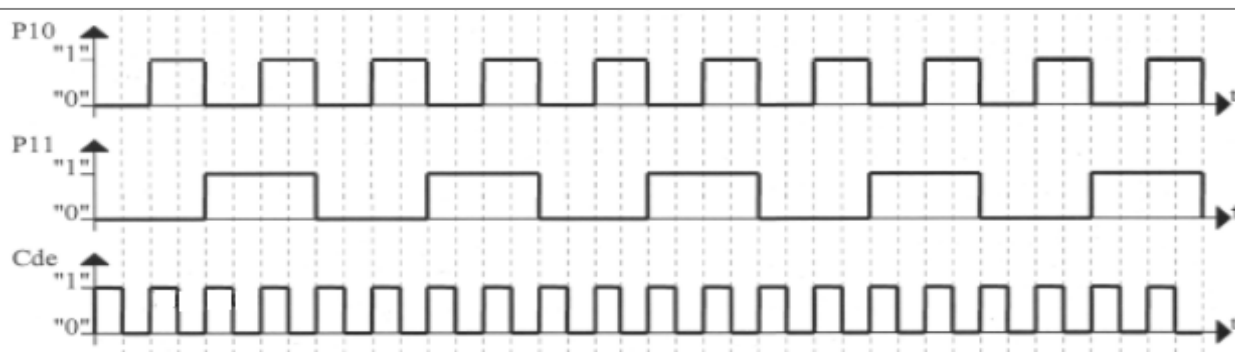
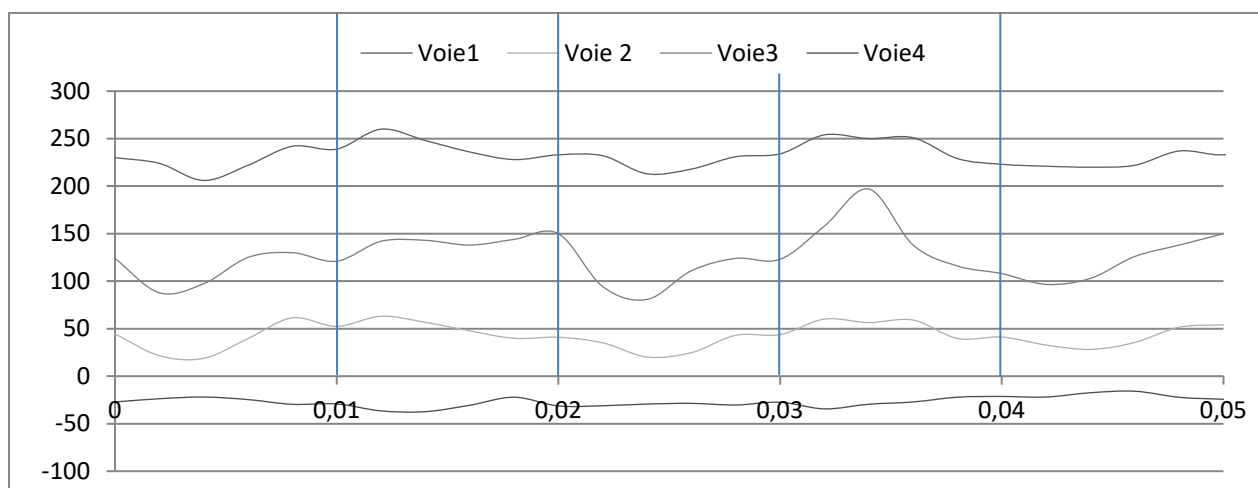
Documents réponse n°2



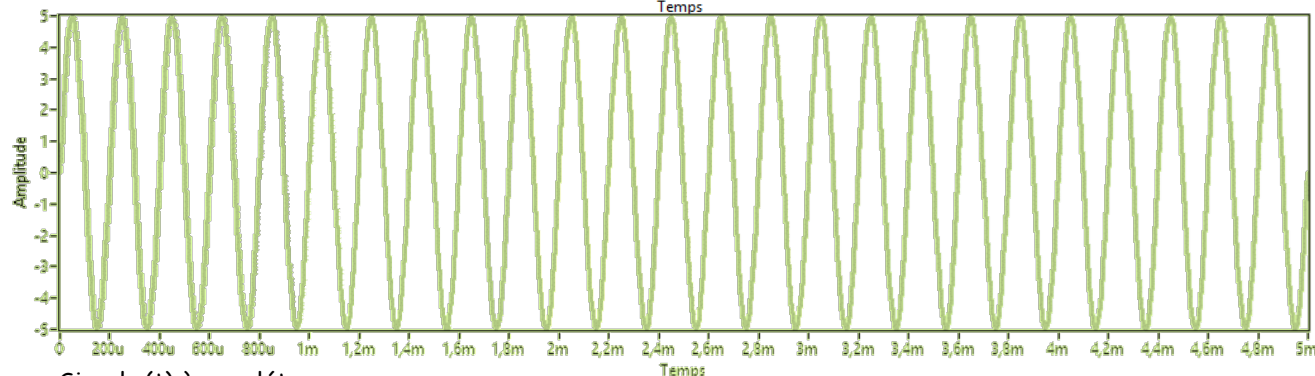
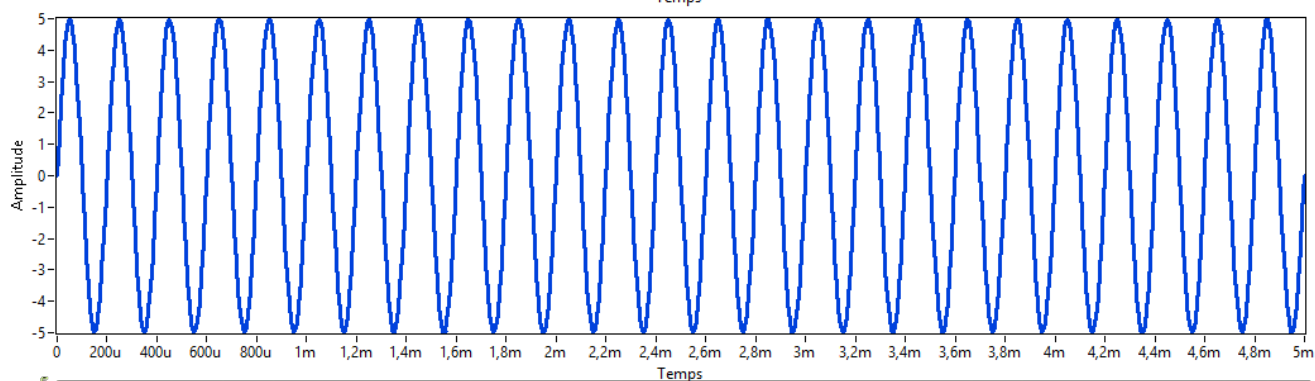
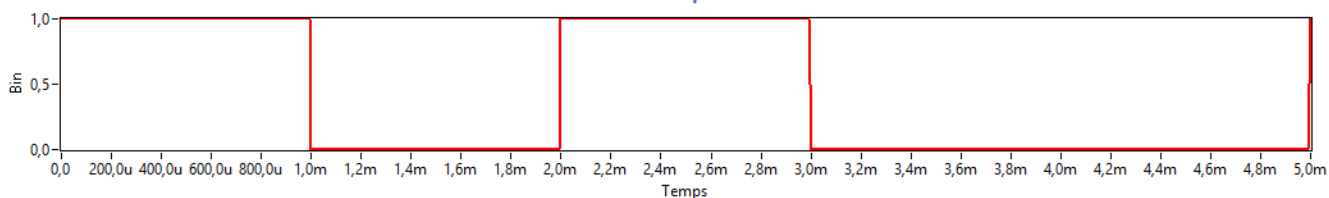
Document réponse n°3



Document réponse n°4



Document réponse n°5



Signal $s(t)$ à compléter

Document réponse n°6