

EXERCICE 2 : PARTIE ÉLECTRICITÉ (durée conseillée 1 h 30)

On vous a confié la tâche de terminer l'assemblage des différentes parties électriques du spectromètre et vérifier leur bon fonctionnement en respectant le cahier des charges imposé par le service qualité.

Comme représenté sur la **figure 3 page 3/19** de la présentation générale, il existe trois parties électriques principales dans l'interféromètre :

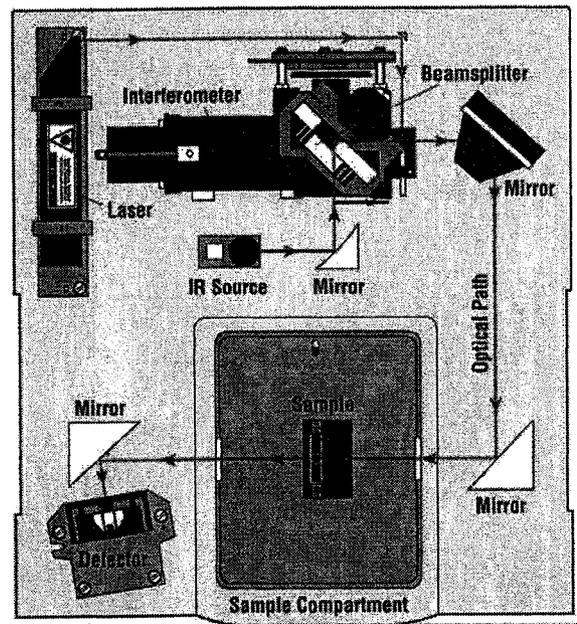
- Le moteur linéaire entraînant le miroir mobile et sa commande.
- La carte de traitement du signal issu du détecteur.
- Une carte de contrôle du laser (non représentée sur la **figure 3** de la présentation générale).

Le moteur et sa commande sont gérés par un autre service. Votre travail se limite à l'étude de la carte de traitement et la carte de contrôle.

2 - MISE EN ŒUVRE DU LASER DE RÉFÉRENCE.

Dans l'exemple d'interféromètre présenté dans le **document 8** ci-contre on remarque, en plus de la source infrarouge, la présence d'un laser. Ce laser Hélium-Néon ($\lambda_{\text{laser}} = 632,8 \text{ nm}$) permet de contrôler et maintenir constante la vitesse du moteur entraînant le miroir mobile mais aussi de fixer des instants d'échantillonnage très précis.

Par exemple, lors des phases d'accélération ou de décélération du moteur, la fréquence du signal issu du détecteur varie. Les intervalles de temps entre chaque échantillonnage doivent s'adapter à cette fréquence variable. Pour cela, on utilise un circuit qui va détecter le passage par zéro du signal issu du détecteur.

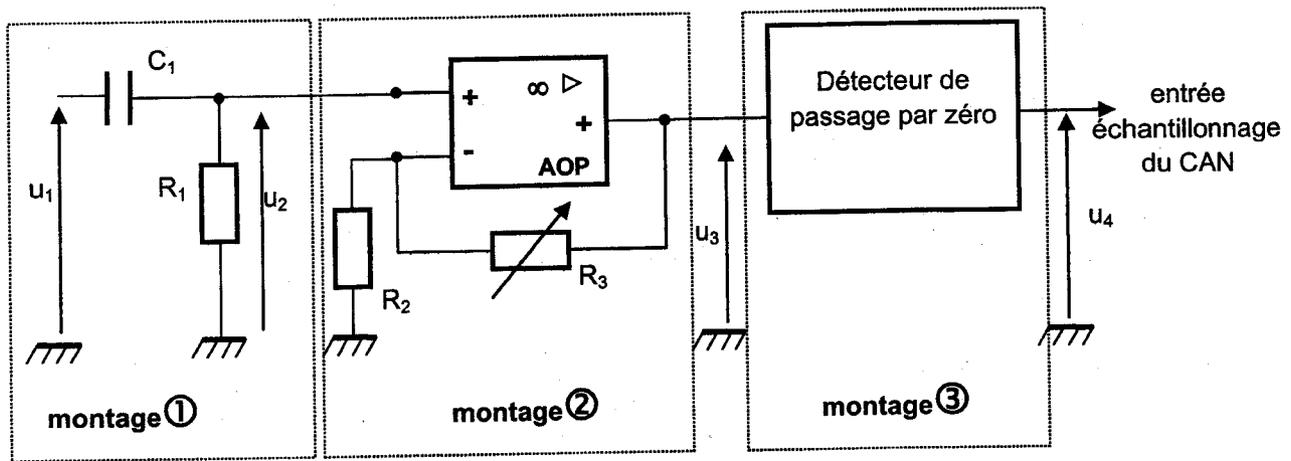


Document 8 : exemple de spectromètre ouvert
(source : Thermo Nicolet)

Le miroir mobile est entraîné par un moteur linéaire qui possède une carte de commande spécifique que vous n'avez pas à gérer dans le cadre de votre service. Par contre vous devez ici mettre en œuvre la carte de contrôle du faisceau issu du laser.

Le faisceau issu du laser de référence à travers l'interféromètre nécessite un capteur spécifique : une photodiode sensible dans le visible. Son circuit de polarisation et son circuit d'isolement ne sont pas représentés ici. Le signal électrique disponible en sortie du capteur est la tension u_1 .

Le circuit de mise en forme du signal du laser de référence est donné sur le **document 9 page suivante**.



$R_1 = 15 \text{ k}\Omega$
 $C_1 = 10 \text{ nF}$

$R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ $V_{cc} = \pm 12 \text{ V}$
 $R_3 = 100 \text{ k}\Omega$ variable

Document 9 : Circuit de mise en forme du signal issu du laser de référence

2.1 - Étude du montage ①.

Ce circuit sera étudié en régime sinusoïdal.

2.1.1 - En utilisant la notation complexe et en négligeant l'intensité du courant entrant dans l'entrée non inverseuse de l'AOP, démontrer que la fonction de transfert complexe du

filtre $\underline{T}_1 = \frac{U_2}{U_1}$ peut s'écrire sous la forme : $\underline{T}_1 = \frac{U_2}{U_1} = \frac{jR_1 C_1 \omega}{1 + jR_1 C_1 \omega}$.

2.1.2 - À partir de l'expression précédente, justifier qualitativement que ce filtre est de nature passe haut.

2.1.3 - On donne l'expression de la fréquence de coupure $F_c = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}$. Calculer sa valeur.

2.1.4 - Sur le **document réponse n° 3 page 17/19**, on donne l'allure du signal u_1 en entrée du filtre. Calculer la fréquence F_1 du signal u_1 . Comparer F_1 à F_c . Quelle va être l'action du filtre sur ce signal ?

2.1.5 - Compléter alors le **document réponse n° 3** pour y représenter le signal u_2 en sortie du montage ① au cours du temps.

2.2 - Étude du montage ②.

On considère que l'AOP est idéal dans toute cette partie.

2.2.1 - Justifier le fonctionnement en régime linéaire de l'amplificateur opérationnel.

2.2.2 - Montrer que la fonction de transfert $\underline{T}_2 = \frac{U_3}{U_2}$ du montage s'exprime en fonction de R_2 et

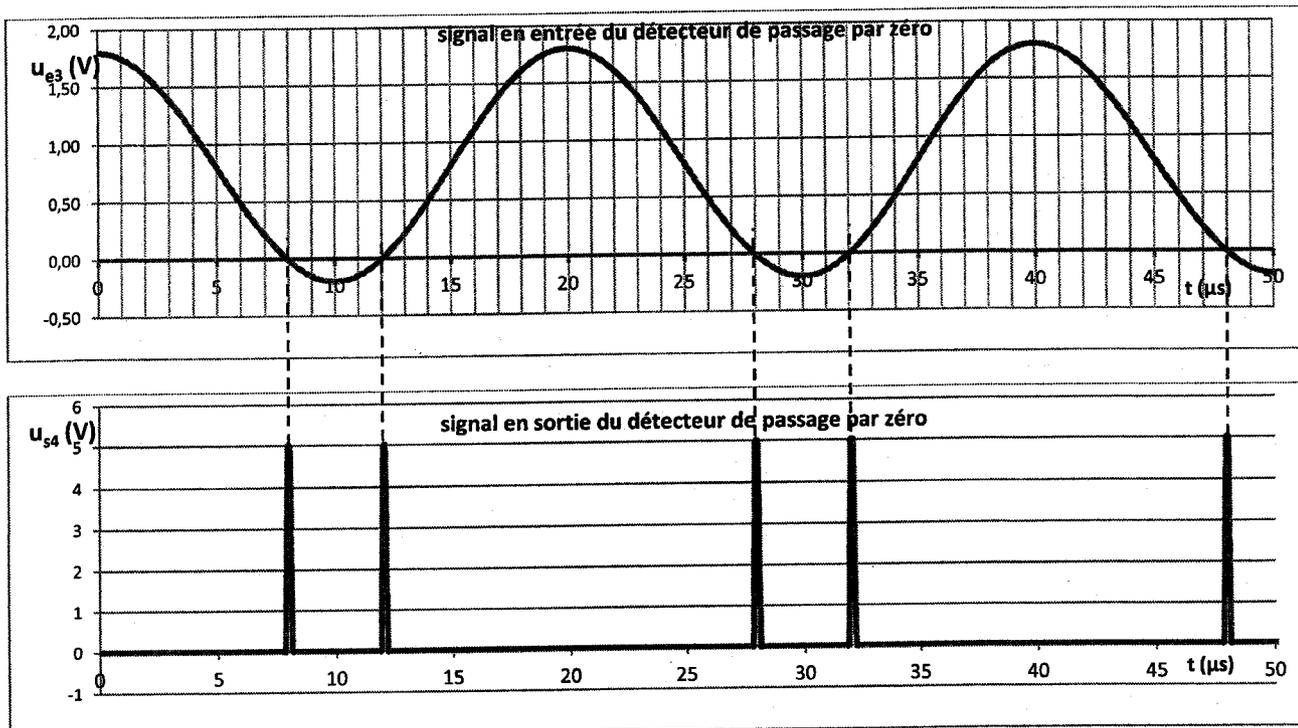
R_3 de la façon suivante : $\underline{T}_2 = 1 + \frac{R_3}{R_2}$.

2.2.3 - Calculer la plage de variation du coefficient d'amplification du montage sachant que R_3 peut varier de 0 à 100 k Ω .

2.2.4 - On fixe l'amplification du montage ② à 5, compléter le **document réponse n° 3** pour y représenter le signal en sortie du montage ② au cours du temps.

2.3 - Étude du montage ③.

Un extrait de la documentation technique du détecteur de passage par zéro donne la réponse u_{e4} du détecteur pour un signal d'entrée u_{e3} particulier (voir le **document 10 ci-dessous**). Le format de la tension de sortie du détecteur est une tension comprise entre 0 V et 5 V.



Document 10 : réponse détecteur de passage par zéro

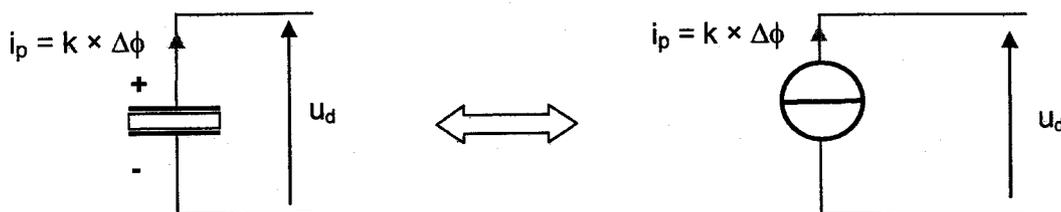
- 2.3.1** - Compléter le **document réponse n° 3** pour y représenter le signal u_4 en sortie du montage ③ au cours du temps.
- 2.3.2** - Déterminer la fréquence F_4 du signal u_4 .
- 2.3.3** - Justifier comment ce circuit permet de fixer des instants d'échantillonnage très précis, même en cas de fluctuation de la vitesse du moteur, en vous aidant des informations de la page 9/19.

3 - CONDITIONNEMENT DU DÉTECTEUR.

3.1 - Mise en œuvre du détecteur.

Les détecteurs les plus couramment utilisés en spectrométrie infrarouge sont des détecteurs pyroélectriques qui sont sensibles aux variations de température. Ce sont des détecteurs thermiques : l'absorption du rayonnement IR se traduit par une élévation de température du matériau. Le détecteur ne délivre donc pas de signal électrique si le flux énergétique ϕ est constant.

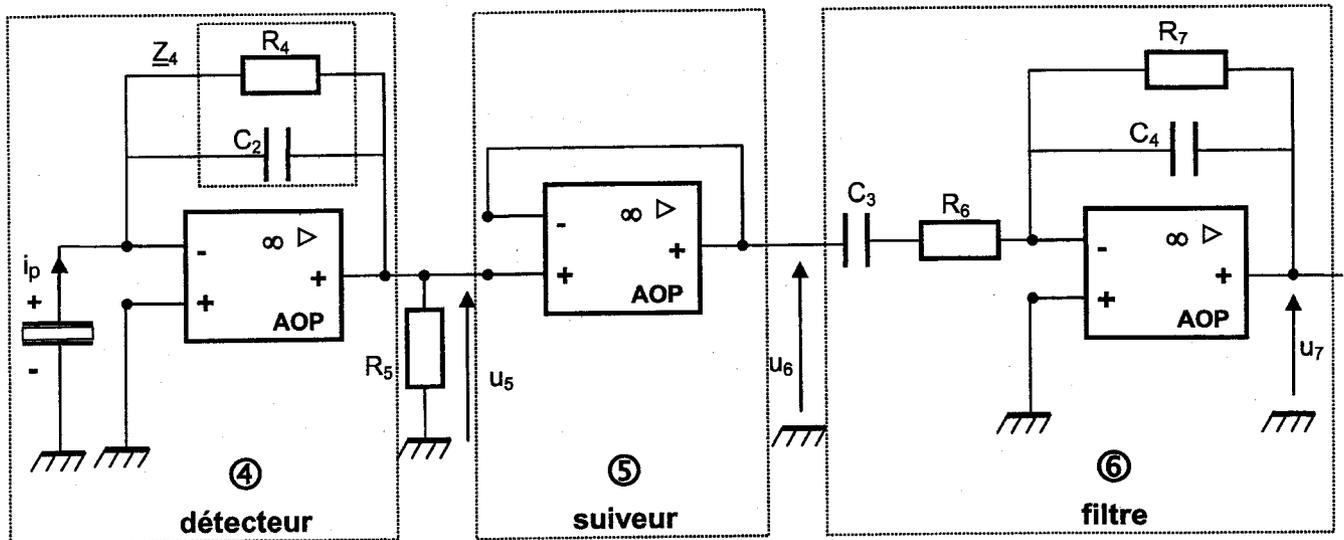
Le constructeur du détecteur donne le modèle électrique du capteur pyroélectrique.



Le courant délivré par le capteur s'écrit $i_p = k \times \Delta\phi$.

- 3.1.1** - Donner la valeur du courant i_p dans le cas d'un flux énergétique constant.

Le constructeur du détecteur donne le circuit d'application typique (voir **figure 5** ci-dessous). Il est constitué de trois éléments distincts : le détecteur, un montage suiveur et un filtre.



$R_4 =$ non spécifié
 $C_2 =$ non spécifié
 $V_{cc} = \pm 12 \text{ V}$

$R_5 = 470 \text{ k}\Omega$

$R_6 = 82 \Omega$; $R_7 = 47 \text{ k}\Omega$
 $C_3 = 47 \text{ nF}$; $C_4 = 33 \text{ nF}$

Les AOP sont considérés idéaux

Figure 5 : circuit d'application typique du détecteur

3.2 - Analyse du détecteur (montage ④).

Le constructeur précise que, dans la configuration proposée, le courant pyroélectrique généré est converti en tension par un convertisseur courant-tension (l'amplificateur opérationnel et les deux composants de la boucle de rétroaction). On se place dans le cas d'une variation sinusoïdale du courant i_p .

3.2.1 - Justifier que le courant i_p se retrouve intégralement dans la boucle de rétroaction.

3.2.2 - Justifier l'appellation convertisseur courant-tension en exprimant U_5 en fonction de i_p et de l'impédance Z_4 équivalente aux éléments R_4 et C_2 en parallèle.

3.3 - Analyse du suiveur (montage ⑤).

3.3.1 - Justifier que $u_6 = u_5$.

3.3.2 - Préciser l'intérêt d'un montage suiveur.

3.4 - Analyse du filtre (montage ⑥).

3.4.1 - Par un raisonnement purement qualitatif (sans calculs) préciser la nature de ce filtre.

3.4.2 - La courbe expérimentale du gain vous a été donnée par M. Trachandle (voir le **document réponse n° 4 page 18/19**). Indiquer sur la courbe les fréquences de coupure haute et basse à -3 dB.

3.4.3 - Compléter le tableau du **document réponse n° 4** en indiquant les valeurs des fréquences de coupure et la bande passante du filtre.

3.4.4 - Calculer le coefficient d'amplification du filtre pour la fréquence $F = 5 \text{ kHz}$.

3.4.5 - La bande passante déterminée sur le **document réponse n° 4** correspond-elle à celle annoncée dans la documentation technique du détecteur (voir **document 11** ci-dessous) ?

Caractéristiques

Plage de réponse	6000–350 cm ⁻¹ (1,7–28 μm)
Taille élément de détection	1x1 mm
Matériau de la fenêtre	KBr
Séparateur de faisceau	KBr
D Typique*	1,5x10 ⁶ à 3,5x10 ⁶
Bande passante utilisable (avec amplificateur)	100 Hz–40 kHz optimisé pour 5 kHz

Document 11 : Caractéristiques du détecteur

3.5 - Dispositif d'adaptation et numérisation.

Le signal u_7 (**figure 5 page 12/19**) à la sortie du filtre doit être numérisé pour être transmis à l'unité de calcul effectuant la transformée de Fourier. La plage de variation maximale du signal u_5 à la sortie du détecteur est comprise dans l'intervalle [- 100 mV ; + 100 mV]. M. Trachandle donne la gamme d'entrée du CAN égale à [0 V ; 5 V].

3.5.1 - Donner la signification du sigle CAN.

3.5.2 - Compléter le **document réponse n° 5 page 18/19** en indiquant la gamme de tension en sortie du suiveur et du filtre. (Vous utiliserez le résultat de la question **3.4.4**).

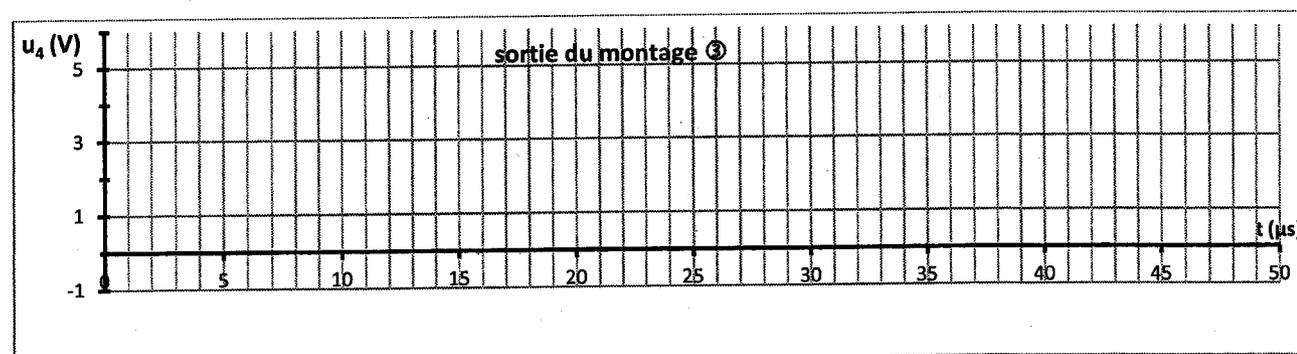
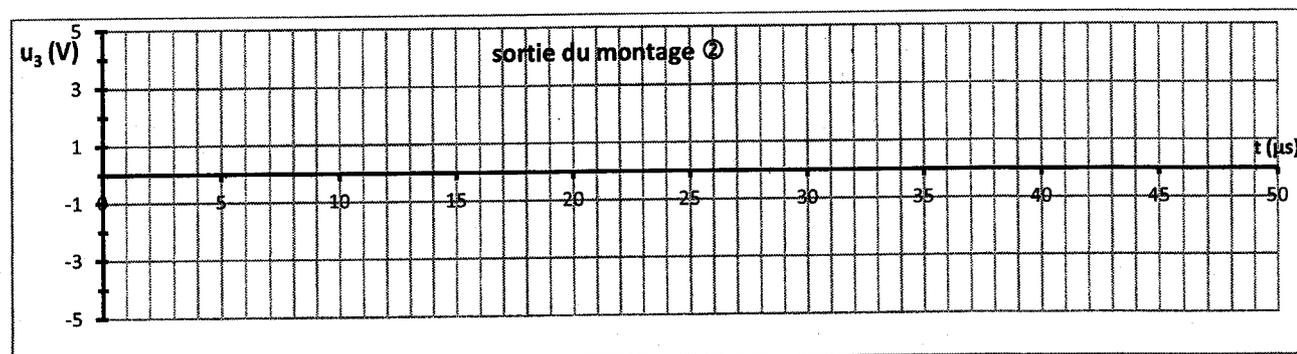
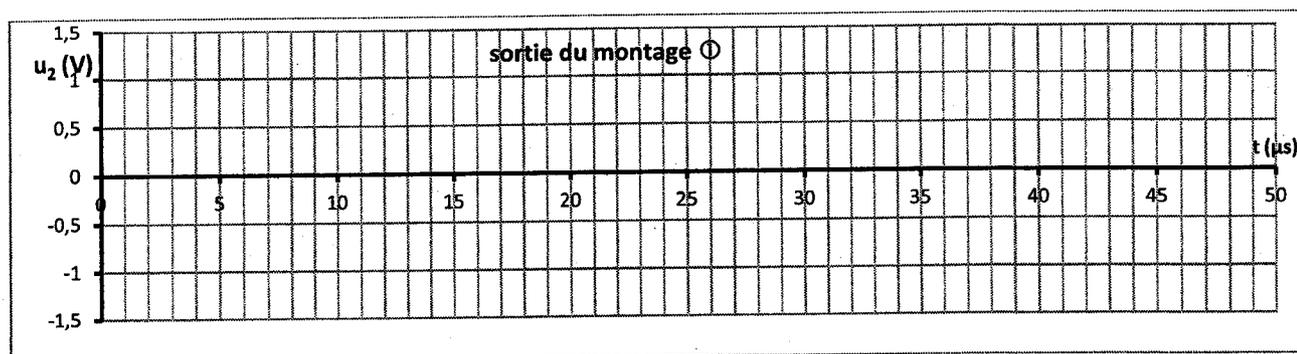
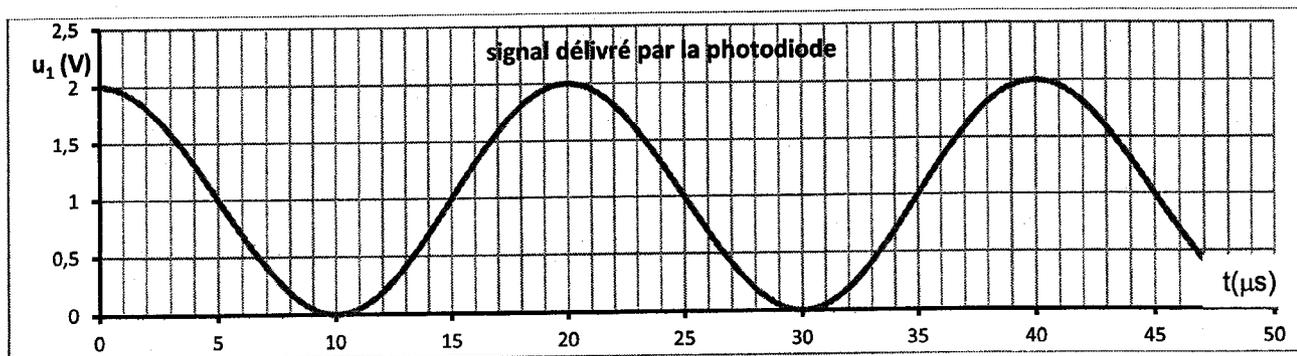
3.5.3 - Proposer une stratégie permettant d'adapter le signal issu du filtre au format du CAN.

3.5.4 - Pour le choix du CAN, M. Trachandle a précisé que le signal d'entrée doit pouvoir varier entre [0 V ; 5 V] et que le quantum ne doit pas dépasser 0,1 mV.

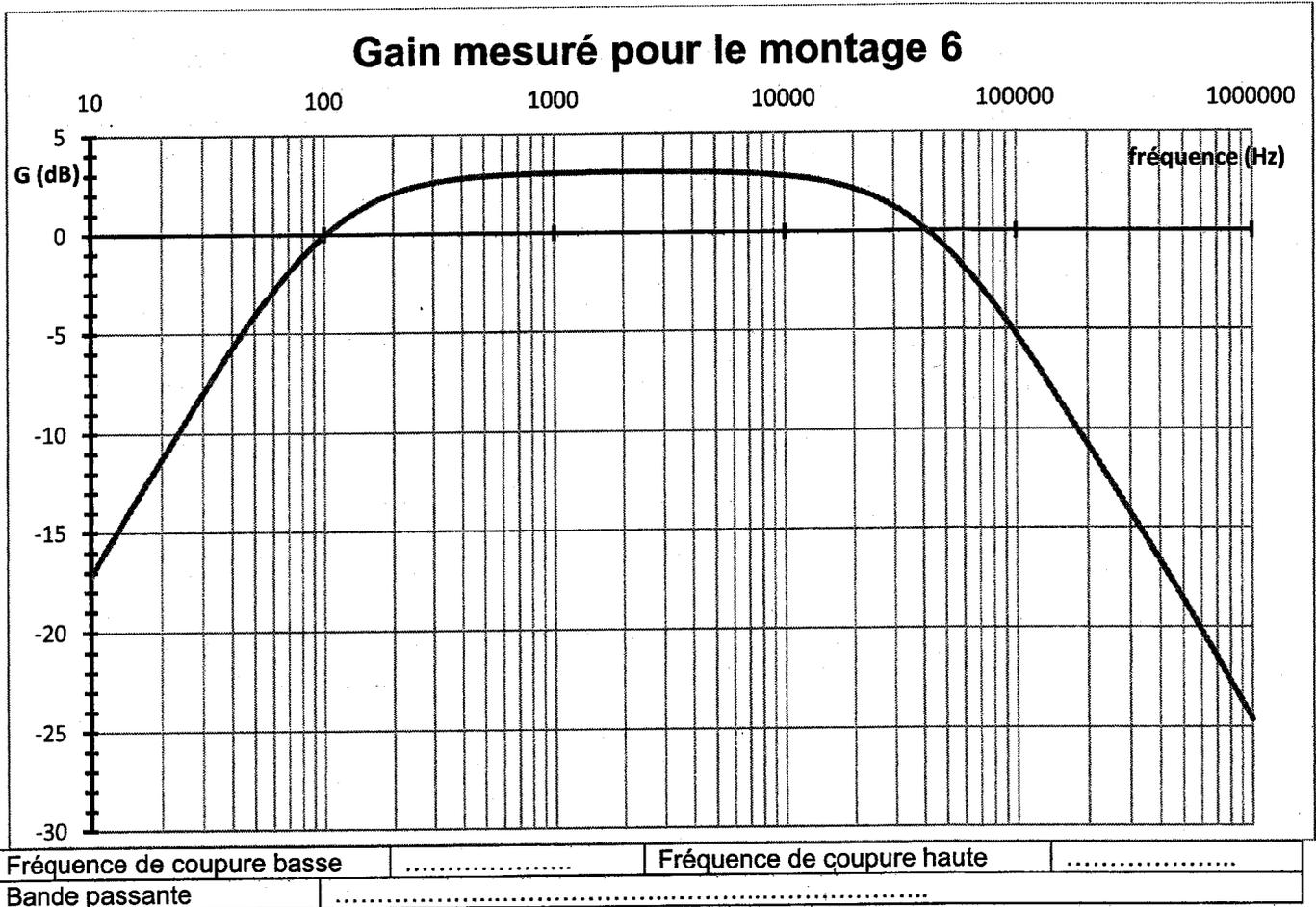
3.5.4.1 - Préciser le nombre de bits minimum du CAN.

3.5.4.2 - La bande passante du signal appliqué en entrée du CAN est [100 Hz ; 40 kHz]. Le signal issu de la carte de contrôle du laser a une fréquence de 100 kHz, ce qui signifie que la fréquence d'échantillonnage pour le CAN est de 100 kHz. Justifier que cette valeur convient pour ce montage.

DOCUMENT RÉPONSE N°3 : PARTIE ÉLECTRICITÉ
À RENDRE AVEC LA COPIE



DOCUMENT RÉPONSE N°4 : PARTIE ÉLECTRICITÉ
À RENDRE AVEC LA COPIE



DOCUMENT RÉPONSE N°5 : PARTIE ÉLECTRICITÉ
À RENDRE AVEC LA COPIE

