



**LE RÉSEAU DE CRÉATION
ET D'ACCOMPAGNEMENT PÉDAGOGIQUES**

**Ce document a été numérisé par le Canopé de l'académie de Bordeaux
pour la Base nationale des sujets d'Examens de l'enseignement professionnel.**

Ce fichier numérique ne peut être reproduit, représenté, adapté ou traduit sans autorisation.

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR
TECHNIQUES PHYSIQUES POUR L'INDUSTRIE ET LE LABORATOIRE

ÉPREUVE DE SCIENCES PHYSIQUES

SESSION 2014

Durée : 4 heures

Coefficient : 4

Matériel autorisé :

Toutes les calculatrices de poche y compris les calculatrices programmables, alphanumériques ou à écran graphique à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimante (Circulaire n°99-186, 16/11/1999).

CE SUJET COMPORTE UNE PRÉSENTATION GÉNÉRALE ET TROIS EXERCICES **INDÉPENDANTS** :

PRÉSENTATION GÉNÉRALE	pages 2/19 à 4/19
EXERCICE 1 : OPTIQUE	pages 5/19 à 8/19
EXERCICE 2 : ÉLECTRICITÉ	pages 9/19 à 13/19
EXERCICE 3 : MÉCANIQUE, THERMODYNAMIQUE ET CHIMIE	pages 14/19 à 15/19

Documents à rendre et àagrafer avec la copie :

- Documents réponses n° 1 et n° 2 (partie optique)	page 16/19
- Documents réponses n° 3 à n° 5 (partie électricité)	pages 17/19 à 18/19
- Documents réponses n° 6 et n° 7 (partie mécanique)	page 19/19

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Le sujet se compose de 19 pages, numérotées de 1/19 à 19/19.

BTS TECHNIQUES PHYSIQUES POUR L'INDUSTRIE ET LE LABORATOIRE	Session 2014
Nom de l'épreuve : Sciences physiques	Code : TPSP
	Page : 1/19

CARACTÉRISATION DES POLYMÈRES PAR SPECTROMÉTRIE INFRAROUGE.

La spectrométrie infrarouge (IR) est devenue une méthode d'analyse de routine des polymères dans de très nombreux laboratoires universitaires ou industriels.

Elle permet d'obtenir des informations détaillées sur la structure chimique des macromolécules et la composition d'un polymère. Elle est également un outil efficace pour étudier les modifications de structure des polymères suite à des traitements chimiques. Elle permet plus particulièrement de réaliser une analyse comparative entre le polymère à l'état isotrope en solution et le polymère transformé à l'état fibreux afin d'en révéler les différences. Cette technique permet aussi de déterminer des traces de solvant résiduel dans le polymère après le filage.

La spectrométrie IR trouve des applications très étendues sur le plan des analyses tant qualitatives que quantitatives. Son utilisation la plus courante est l'identification de composés organiques : deux substances ne possèdent jamais des spectres identiques.

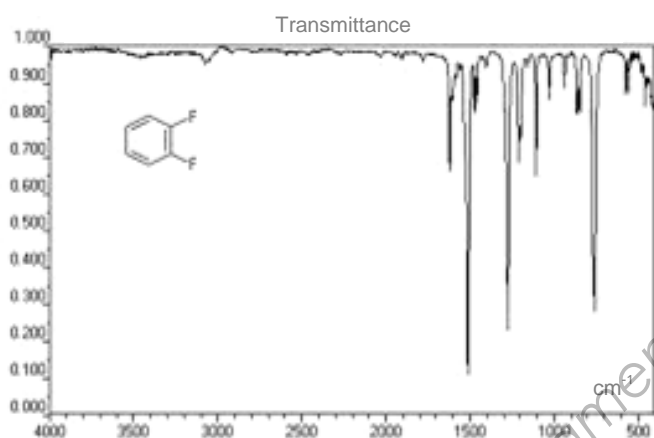


Figure 1 : Spectre d'absorption IR du 1.2 difluorobenzene

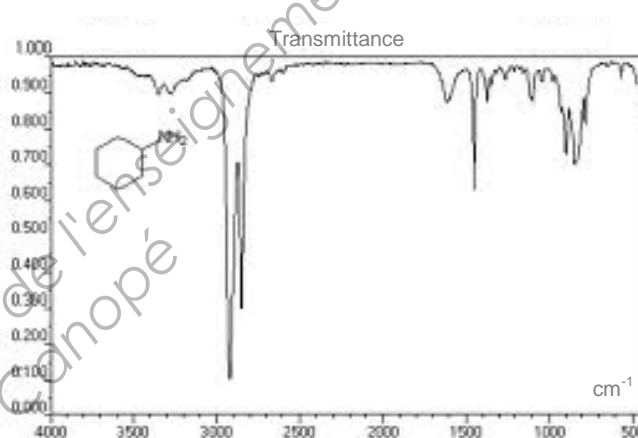
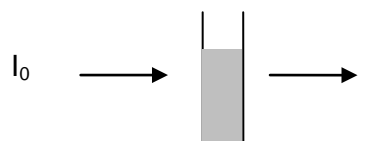


Figure 2 : Spectre d'absorption IR de la cyclohexylamine

Un spectre infrarouge représente la transmittance T en fonction du nombre d'onde σ (inverse de la longueur d'onde $\sigma = \frac{1}{\lambda}$).

La transmittance est déterminée à partir des intensités lumineuses transmise I et incidente I_0

mesurées par un capteur de lumière : $T = \frac{I}{I_0}$.



Les spectres IR par transformée de Fourier sont acquis à l'aide d'un spectromètre qui est composé d'une source IR, d'un interféromètre et d'un capteur de lumière. On éclaire l'échantillon avec un rayonnement infrarouge et on mesure les longueurs d'ondes auxquelles le matériau absorbe et les intensités d'absorption correspondantes. Les longueurs d'ondes auxquelles le matériau absorbe sont caractéristiques de liaisons chimiques particulières. Un phénomène de résonance intervient dans la molécule quand le rayonnement la traverse ou s'y réfléchit :

- si la fréquence du rayonnement est différente de celles des vibrations moléculaires rencontrées, la radiation n'est pas absorbée ;
- si la fréquence est identique, la radiation perd de son énergie. Elle est absorbée par la molécule, l'amplitude des vibrations augmente.

ÉLÉMENTS D'UN SPECTROMÈTRE À TRANSFORMÉE DE FOURIER.

Dans un spectromètre à transformée de Fourier, l'élément principal est un interféromètre de Michelson schématisé ci-dessous sur la figure 3.

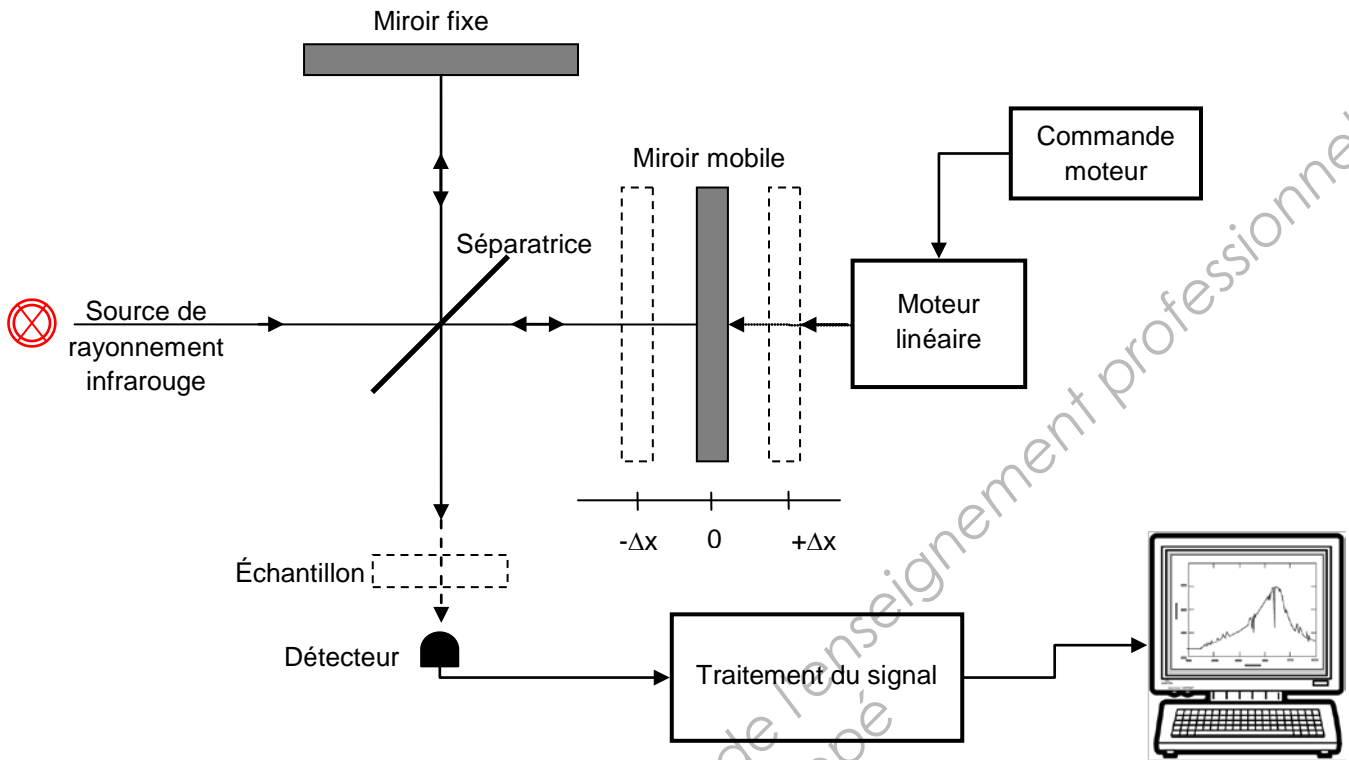


Figure 3 : Éléments de base constituant un spectromètre à transformée de Fourier

La lame séparatrice semi-transparente divise le faisceau issu de la source IR en deux faisceaux d'intensité égale. L'un est réfléchi vers le miroir fixe alors que l'autre est transmis vers un miroir mobile qui se déplace à vitesse constante le long de son axe. Un faisceau parcourt un chemin optique fixe, l'autre un chemin optique de longueur variable grâce au miroir mobile. Le signal sortant de l'interféromètre est donc la superposition de deux faisceaux interférant entre eux. Les faisceaux interfèrent de façon constructive ou destructive suivant la position du miroir mobile et la fréquence de la radiation.

Après la traversée de l'échantillon, le faisceau résultant parvient au détecteur pour être transformé en signal électrique. Un traitement mathématique particulier, la transformée de Fourier, réalisé numériquement par l'ordinateur, permet de passer du domaine temporel au domaine fréquentiel (voir **figure 4 ci-dessous**).

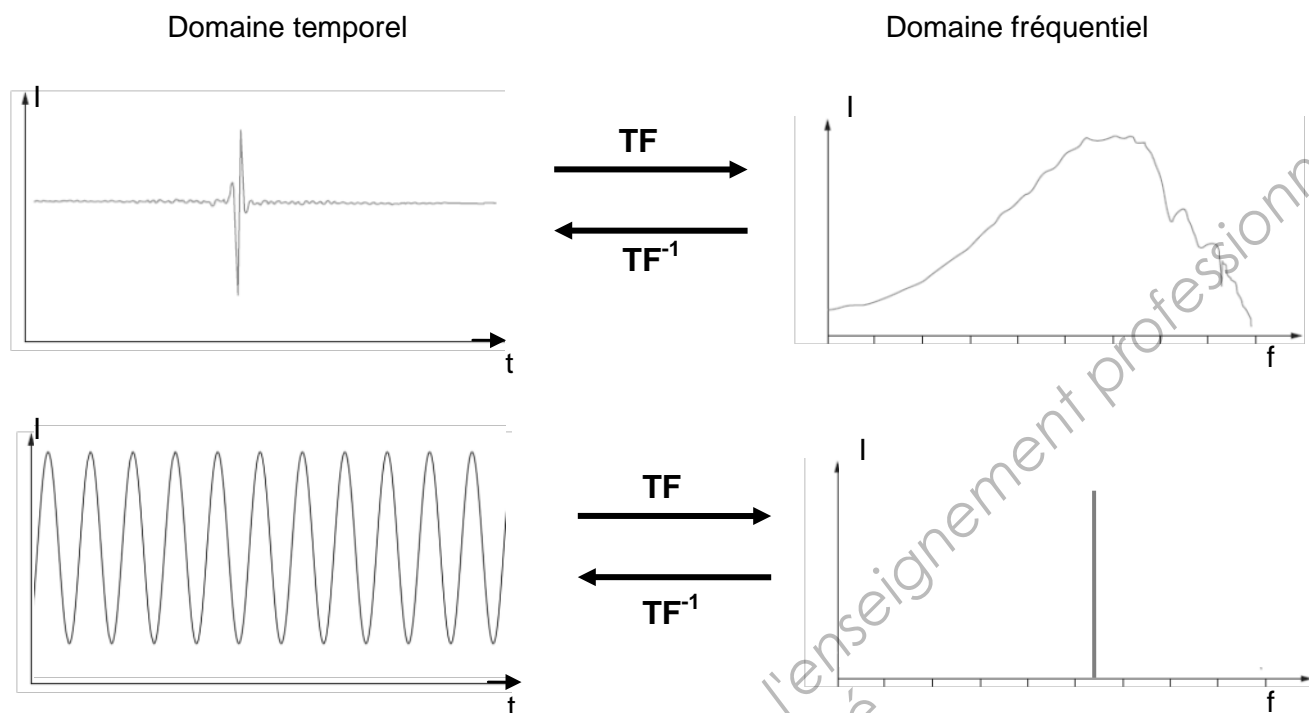


Figure 4 : exemples d'interférogrammes et de spectres associés

La même opération mathématique permet de passer de la différence de marche (domaine spatial), à la représentation de l'intensité en fonction du nombre d'onde σ afin d'obtenir le spectre $I = f(\sigma)$.

Dans ce sujet, vous êtes un technicien supérieur nouvellement embauché dans une entreprise leader sur le marché des spectromètres IR. Vous travaillez dans le service qualité sous l'autorité d'un ingénieur-conseil M. Trachandle qui vous aidera dans la limite de ses disponibilités (vous disposerez de nombreux documents).

Ce sujet comporte trois exercices indépendants que vous pouvez traiter dans l'ordre que vous souhaitez.

- **L'exercice 1** concerne l'analyse optique de l'interféromètre et sa résolution ainsi qu'un exemple d'application.
- **L'exercice 2** porte sur la mise en œuvre de différentes parties électriques de l'interféromètre.
- **L'exercice 3** aborde le refroidissement par effet Peltier du détecteur.

EXERCICE 1 : PARTIE OPTIQUE (durée conseillée 1 h15)

1 - ANALYSE OPTIQUE DE L'INTERFÉROMÈTRE.

Le domaine de l'infrarouge correspond à des longueurs d'ondes comprises entre 0,8 μm et 1000 μm que l'on peut diviser en trois domaines. La majorité des applications se situe dans le moyen infrarouge.

Domaine	Longueur d'onde λ (m)
IR proche	$0,8 \cdot 10^{-6} - 2,5 \cdot 10^{-6}$
IR moyen	$2,5 \cdot 10^{-6} - 5 \cdot 10^{-5}$
IR lointain	$5 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^{-3}$

1.1 - Source infrarouge.

1.1.1 - D'après le **document 1 ci-contre**, déterminer la bande spectrale (en nombres d'ondes) balayée par le spectromètre dans sa version **standard**.

1.1.2 - Déterminer la plage de longueurs d'ondes correspondante sachant que $\sigma = \frac{1}{\lambda}$.

1.1.3 - Justifier son appellation de spectromètre infrarouge. Préciser le (les) domaine(s) de l'infrarouge correspondant(s).

La source infrarouge utilisée est une source incandescente au carbure de silicium.

1.1.4 - D'après le **document 2 ci-contre**, justifier le choix de cette source pour le spectromètre.

Performance Specifications

Spectral Range (Standard)	7800 – 350 cm^{-1}
Spectral Range (Option, Cst Optics)	6400 – 200 cm^{-1}
Spectral Range (Option, Extended-Range Optics)	11000 – 375 cm^{-1}
Spectral Range (Option, Multi-Range Optics)	27000 – 15 cm^{-1} (Option)
Optical Resolution	0.4 cm^{-1}
Peak-To-Peak Noise (1 minute scan)	$< 8.68 \times 10^6 \text{ AU}^{**}$ (50,000:1)
RMS Noise (1 minute scan)	$< 1.95 \times 10^6 \text{ AU}^{**}$
Ordinate Linearity	0.07 %T

Document 1 : spécifications techniques du spectromètre 4700

Spécifications

Plage spectrale	1,7 à 28 μm
Taille du faisceau de sortie	3,81 cm
Divergence du faisceau	1° plein angle
Température de couleur	-1200 K, ± 100 K
Durée de vie moyenne	2000 heures
Courant de fonctionnement	1,8 à 2,4 A
Tension de fonctionnement	12 V
Fluctuations de l'intensité lumineuse (crête à crête)	0,10 % crête-à-crête
Entrées AC	110/220 VAC
Sortie DC	12 V

Document 2 : caractéristiques de la source IR

1.2 - L'interféromètre de Michelson.

On suppose que l'interféromètre est réglé au contact optique et que les miroirs sont perpendiculaires. Le schéma de l'interféromètre est celui de la **figure 3 page 3/19** de la présentation générale. La figure d'interférences obtenue est constituée d'anneaux concentriques.

On déplace le miroir mobile d'une distance e .

1.2.1 - Donner l'expression de la différence de marche δ au niveau du détecteur entre les deux faisceaux émergeant de l'interféromètre au centre des anneaux (qui correspond à une incidence nulle comme représenté sur la **figure 3**) sachant que la séparatrice n'introduit pas de déphasage supplémentaire.

1.2.2 - En supposant la source étendue, préciser où sont localisés les anneaux.

Si on place une lentille convergente à la sortie de l'interféromètre, préciser quelle doit être la distance entre la lentille et le capteur.

Le miroir mobile, couplé à un moteur, se déplace à vitesse constante notée v . Un capteur de lumière est placé au centre des anneaux. L'ensemble capteur et interface permet l'enregistrement de l'intensité lumineuse notée $I(t)$ en fonction de la durée d'enregistrement.

On souhaite passer de la représentation de l'intensité lumineuse en fonction du temps $I(t)$ à la représentation de l'intensité lumineuse en fonction de la différence de marche $I(\delta)$.

1.2.3 - Le miroir mobile se déplace pendant une durée Δt . En supposant que la vitesse de translation v du miroir est constante, exprimer la différence de marche δ en fonction de v et Δt . On suppose qu'initialement l'interféromètre est réglé au contact optique.

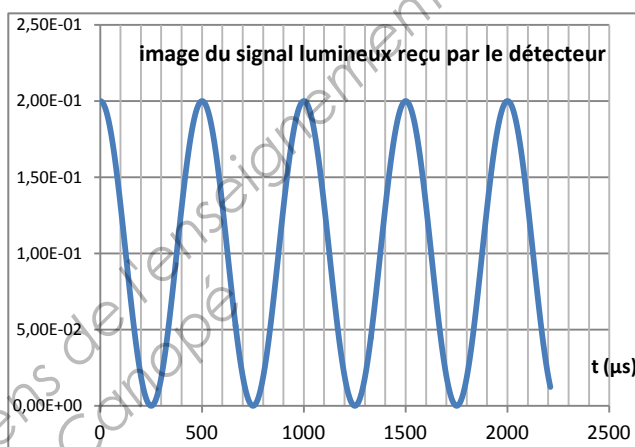
1.3 - Détermination de la vitesse de déplacement du miroir.

Au service R&D, les ingénieurs ont testé le spectromètre en utilisant une source IR monochromatique de longueur d'onde $\lambda_{\text{monoIR}} = 15,00 \mu\text{m}$. M. Trachandle vous a fourni le signal temporel obtenu par les ingénieurs lors des essais (voir le **document 3 ci-dessous**).

1.3.1 - Déterminer sur le **document réponse n° 1 page 16/19**, les instants correspondant à des interférences constructives. En déduire la période T et la fréquence f du signal du **document 3**.

1.3.2 - Exprimer en fonction de la longueur d'onde λ_{monoIR} , la variation de différence de marche $\Delta\delta$ correspondant à la période du signal.

1.3.3 - Montrer à l'aide des questions **1.2.3.** et **1.3.2.** que la vitesse du moteur s'exprime par la relation :
$$v = \frac{\lambda_{\text{monoIR}} \times f}{2}$$



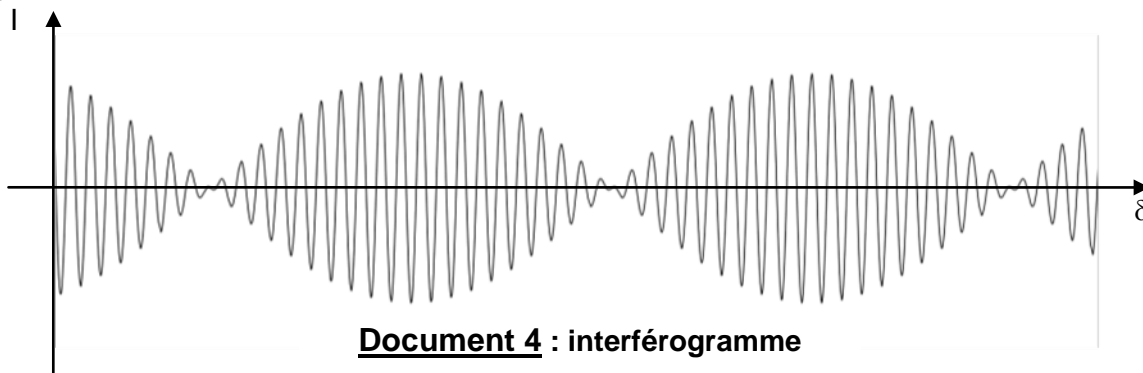
Document 3 : Résultat du service R&D

1.3.4 - Calculer la vitesse v .

1.4 - Résolution spectrale de l'interféromètre I.R à transformée de Fourier (IRTF).

On éclaire l'interféromètre par une source à deux composantes spectrales (nombres d'ondes σ_1 et σ_2) proches l'une de l'autre. On obtient un phénomène de battements.

L'interférogramme $I = f(\delta)$, obtenu avec la source, est donné dans le **document 4 ci-dessous**. **La composante continue est filtrée.**



Document 4 : interférogramme

1.4.1 - Lorsque le miroir mobile se déplace, on obtient périodiquement des anti-coïncidences. Indiquer sur le **document réponse n° 2 page 16/19**, deux anti-coïncidences consécutives (correspondant à un contraste nul) sur l'interférogramme et reporter sur la figure la variation de différence de marche correspondante $\Delta\delta$.

1.4.2 - La variation de différence de marche entre deux anti-coïncidences consécutives est donnée par la relation : $\Delta\delta = \frac{1}{\sigma_2 - \sigma_1} = \frac{1}{\Delta\sigma}$.

La résolution de l'instrument est caractérisée par la plus petite valeur $\Delta\sigma$ mesurable.

La résolution augmente quand $\Delta\sigma$ diminue.

Relever la résolution du spectromètre à l'aide du **document 5 ci-contre**. En déduire la valeur du déplacement minimal Δe du miroir mobile pour obtenir cette résolution.

Performance Specifications

Spectral Range (Standard)	7800 – 350 cm ⁻¹
Spectral Range (Option, Csl Optics)	6400 – 200 cm ⁻¹
Spectral Range (Option, Extended-Range Optics)	11000 – 375 cm ⁻¹
Spectral Range (Option, Multi-Range Optics)	27000 – 15 cm ⁻¹ (Option)
Optical Resolution	0.4 cm ⁻¹
Peak-To-Peak Noise (1 minute scan)	< 8.68 x 10 ⁻⁶ AU** (50,000:1)
RMS Noise (1 minute scan)	< 1.95 x 10 ⁻⁶ AU**
Ordinate Linearity	0.07 %T

Document 5 : Spécifications techniques du spectromètre 4700

1.4.3 - Pour optimiser cette résolution, la course du miroir mobile doit-elle être grande ou petite ?

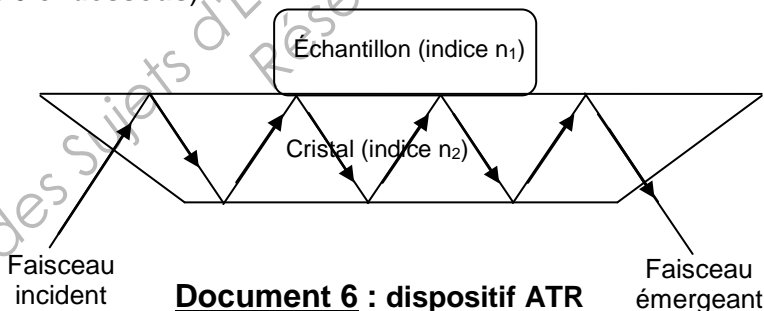
1.5 - Enregistrement de l'intensité lumineuse par réflexion totale atténuée (ATR) :

Lorsque le polymère est trop absorbant, on ne peut pas réaliser l'analyse de l'échantillon en transmission.

On a recours alors à une analyse de la lumière en réflexion.

Le principe des dispositifs ATR est de faire subir au faisceau optique plusieurs réflexions à l'interface entre l'échantillon à analyser et un cristal parallélépipédique transparent en IR, d'indice de réfraction n_2 élevé (ZnSe, TlBr, AgCl, diamant...), supérieur à celui de l'échantillon d'indice n_1 .

Le faisceau incident traverse le cristal et subit une réflexion totale sur l'interface cristal/échantillon (voir **document 6 ci-dessous**).



Document 6 : dispositif ATR

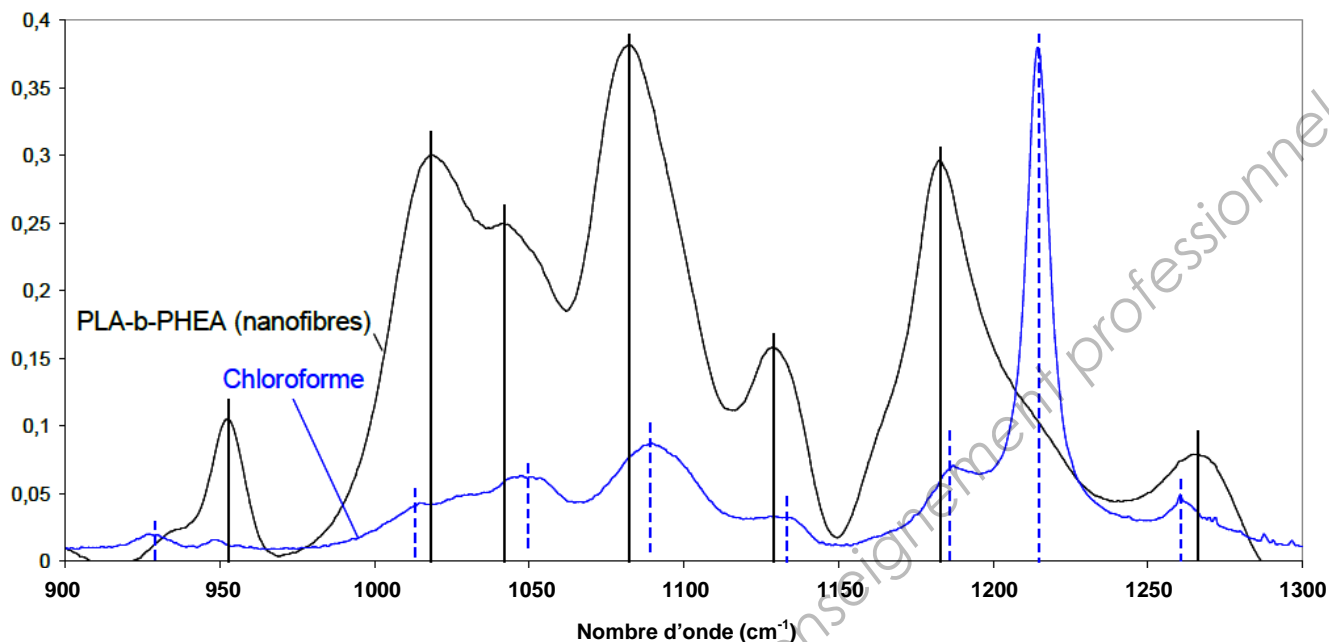
En réalité, une partie de l'énergie est absorbée par l'échantillon à chaque réflexion totale. On suppose que, lorsqu'il y a réflexion totale au niveau de l'interface air/cristal, l'énergie absorbée par l'air est négligeable par rapport à celle absorbée par l'échantillon. Le nombre élevé de réflexions totales permet d'augmenter la quantité d'énergie absorbée dans l'échantillon.

1.5.1 - On donne $n_1 = 1,5$ et $n_2 = 2,43$. Justifier, sans calcul, que la réflexion totale au niveau de l'interface cristal/échantillon est possible.

1.5.2 - Calculer l'angle d'incidence minimum au niveau de l'interface cristal/échantillon pour qu'il y ait réflexion totale.

Une nanofibre est fabriquée par électrofilage à partir d'un bi-polymère en solution. Le solvant utilisé est le chloroforme. Les tubes nanofibreux peuvent être implantés dans des organismes vivants. Il est important que la fibre fabriquée ne comporte plus de trace de solvant.

Le document suivant représente les spectres d'absorption du bi-polymère PLA-b-PHEA (sous forme de nanofibre) et du chloroforme (solvant).



Document 7 : spectres du PLA-b-PHEA et du chloroforme

1.5.3 - En comparant les deux spectres d'absorption (voir **document 7 ci-dessus**), justifier l'absence de solvant dans les nanofibres.

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 :

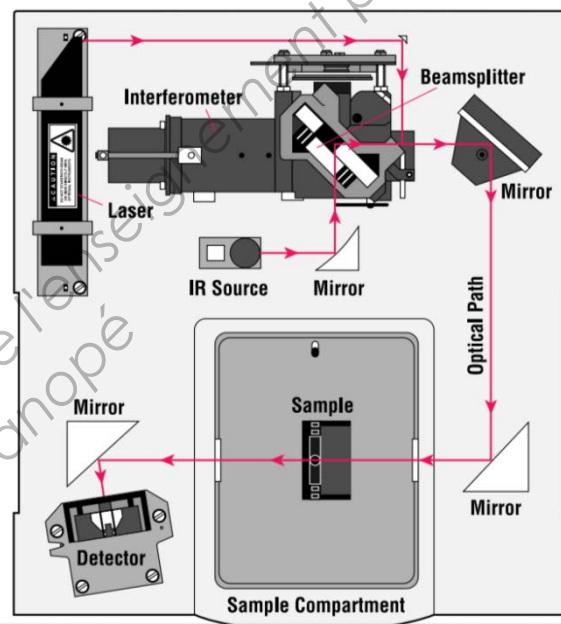
- Le moteur linéaire entraînant le miroir mobile et sa commande.
- La carte de traitement du signal issu du détecteur.
- Une carte de contrôle du laser (non représentée sur la **figure 3** de la présentation générale).

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.

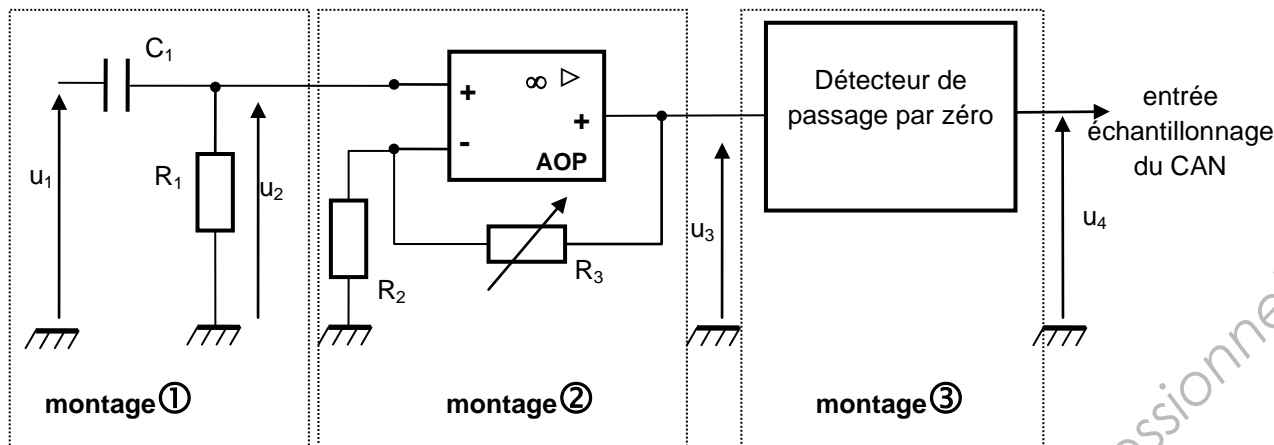


Document 8 : exemple de spectromètre ouvert (source : Thermo Nicolet)

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 : $\underline{T}_1 = \frac{U_2}{U_1} = \frac{jR_1C_1\omega}{1 + jR_1C_1\omega}$.

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

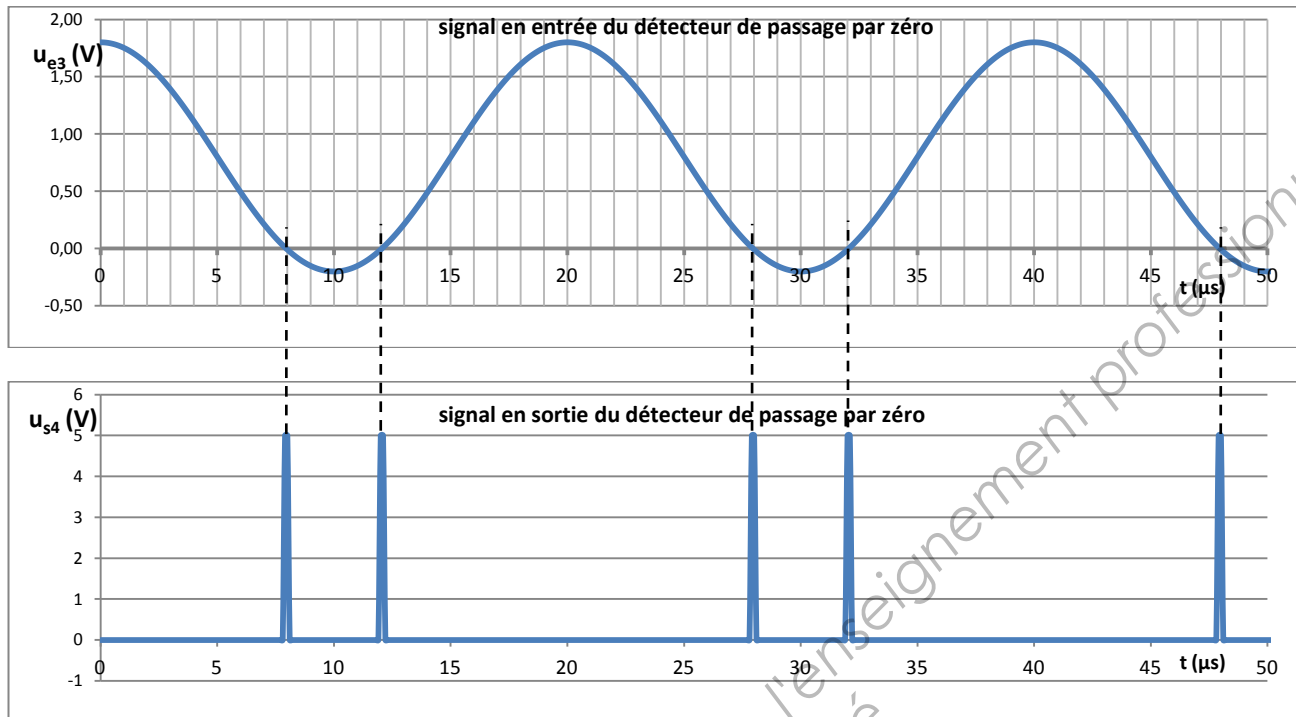
R_3 de la façon suivante : $\underline{T}_2 = 1 + \frac{R_3}{R_2}$.

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_{s4} 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

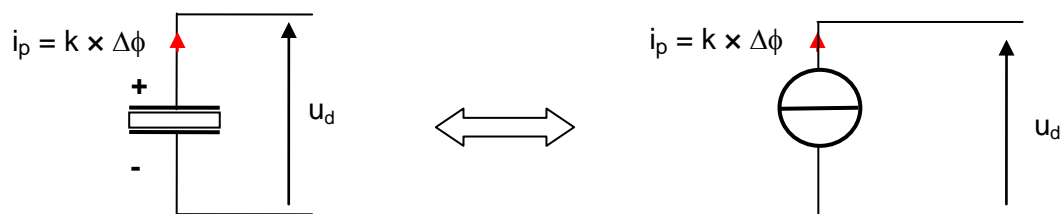
- 2.3.1** - Compléter le **document réponse n° 3** pour y représenter le signal u_4 en sortie du montage ③ au cours du temps.
- 2.3.2** - Déterminer la fréquence F_4 du signal u_4 .
- 2.3.3** - Justifier comment ce circuit permet de fixer des instants d'échantillonnage très précis, même en cas de fluctuation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

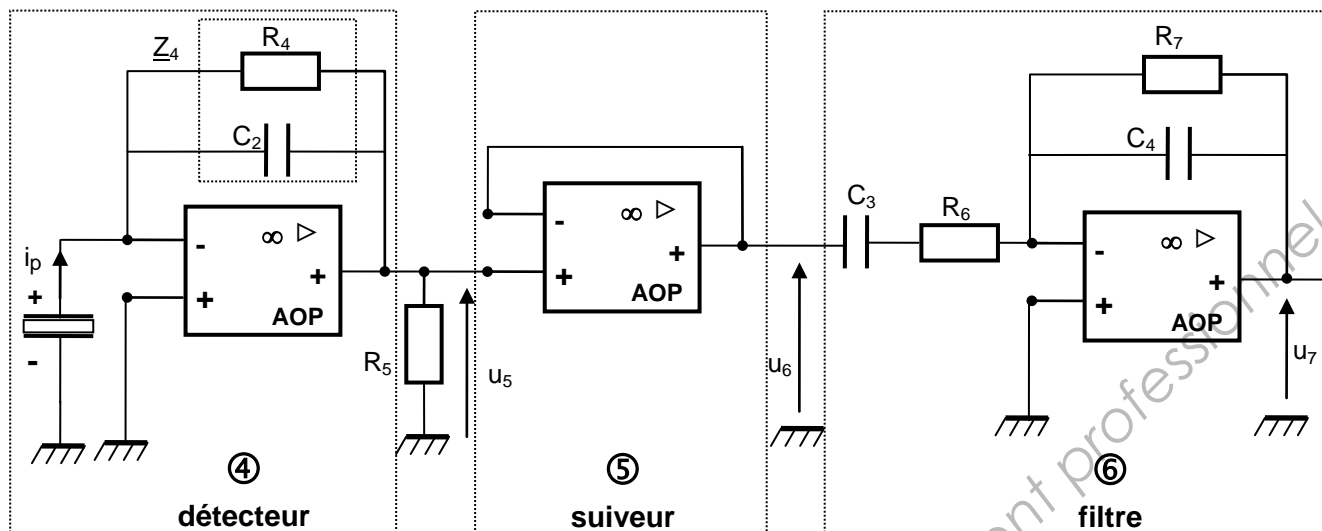


Le courant délivré par le capteur s'écrit $i_p = k \times \Delta\phi$.

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

BTS TECHNIQUES PHYSIQUES POUR L'INDUSTRIE ET LE LABORATOIRE	Session 2014
Nom de l'épreuve : Sciences physiques	Code : TPSP Page : 11/19

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	1 x 1 mm
Matériau de la fenêtre	KBr
Séparateur de faisceau	KBr
D Typique*	1,5x10 ⁹ 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.

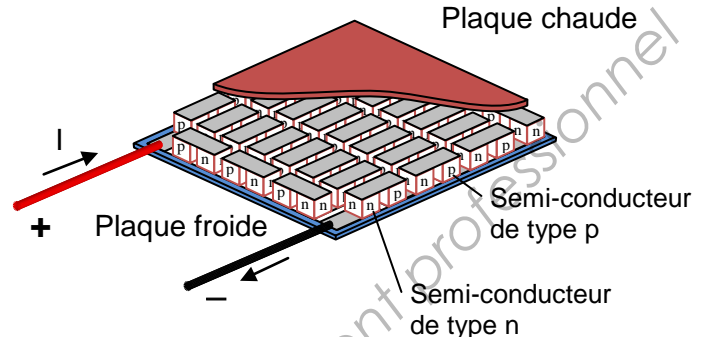
3.5.4.2 - La bande passante du signal appliqué en entrée du CAN est [100 Hz ; 40 kHz]. Le signal issu de la carte de contrôle du laser a une fréquence de 100 kHz, ce qui signifie que la fréquence d'échantillonnage pour le CAN est de 100 kHz. Justifier que cette valeur convient pour ce montage.

EXERCICE 3 : PARTIE MÉCANIQUE, THERMODYNAMIQUE ET CHIMIE (durée conseillée 1 h)

Le détecteur DTGS étudié dans la partie électricité est un élément très sensible mais qui peut être perturbé par une variation de la température ambiante. Dans le spectromètre, il est associé à un module Peltier lui assurant un fonctionnement à température constante.

Figure 6

Un plan thermostaté par effet Peltier (**figure 6 ci-contre**) est constitué d'éléments semi-conducteurs de type n et p placés entre deux plaques en céramique électriquement isolantes mais conductrices de la chaleur. Dès qu'un courant électrique continu traverse un tel montage, la plaque chaude dégage de la chaleur alors que la plaque froide va absorber la chaleur dégagée.



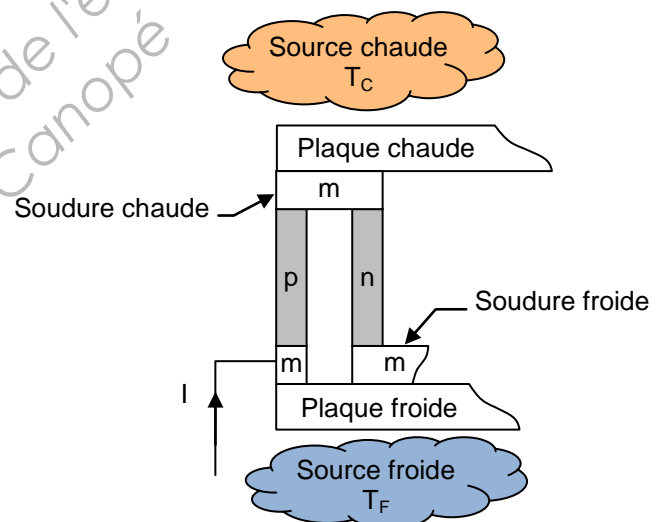
Le « motif élémentaire » ou module à effet Peltier est un couple thermoélectrique (**figure 7 ci-dessous**) constitué de deux barreaux cylindriques semi-conducteurs n et p de géométrie identique, de pouvoirs thermoélectriques respectifs ϵ_n et ϵ_p , connectés thermiquement en parallèle et électriquement en série par l'intermédiaire d'un pont en cuivre constituant une soudure métallique m.

Figure 7

Dans le sens du courant I alimentant le module, les deux jonctions successives p → m et m → n sont en contact thermique avec la source chaude.

Elles constituent ainsi la soudure chaude à la température T_C .

Les deux jonctions m → p et n → m en contact avec la source froide constituent la soudure froide à la température T_F .



Les parois latérales des deux barreaux semi-conducteurs sont supposés parfaitement isolées thermiquement.

4 - ÉTUDE DE L'EFFET PELTIER.

L'effet Peltier est un effet thermoélectrique dû à une jonction et à la nature même de ses deux constituants. L'effet Peltier est donc un effet thermique différent de l'effet Joule. Cet effet résulte du passage d'un courant électrique, fourni par un générateur, à travers la soudure entre les deux semi-conducteurs n et p à la même température. Pour un module, la puissance thermique échangée avec la source froide vaut :

$$P_{mF} = (\epsilon_p - \epsilon_n) T_F I$$

Puissance thermique en watt
Température en kelvin
Intensité du courant en ampère

Cette puissance thermique est donc reçue par le module.

BTS TECHNIQUES PHYSIQUES POUR L'INDUSTRIE ET LE LABORATOIRE	Session 2014
Nom de l'épreuve : Sciences physiques	Code : TPSP
	Page : 14/19

De même la puissance thermique échangée avec la source chaude vaut :

$$P_{mC} = -(\varepsilon_p - \varepsilon_n)T_C I.$$

Cette puissance thermique est perdue par le module et donc cédée à la source chaude.

On néglige, dans cette étude, l'effet Joule ainsi que les transferts d'énergie par conduction thermique dans les semi-conducteurs n et p.

- 4.1** - Sachant que le plan thermostaté est constitué de 69 modules, calculer les puissances thermiques P_C et P_F respectivement échangées par le plan thermostaté avec la source chaude et la source froide (exprimer les résultats avec trois chiffres significatifs).
- 4.2** - Flécher le sens des trois transferts énergétiques sur le **document réponse n° 6 page 19/19**.
- 4.3** - En déduire la valeur de la puissance électrique P_E échangée par le plan thermostaté avec le générateur.
- 4.4** - On définit le coefficient de performance ou efficacité frigorifique du plan thermostaté, par le rapport entre la puissance prélevée à la source froide et la puissance électrique fournie par le générateur.
- 4.4.1** - Exprimer l'efficacité frigorifique e_F du plan à effet Peltier en fonction des différentes puissances.
- 4.4.2** - Calculer l'efficacité frigorifique e_F , en conservant deux chiffres significatifs pour le résultat final.
- 4.5** - L'efficacité e_{Carnot} d'une machine frigorifique fonctionnant suivant un cycle de Carnot entre les mêmes températures T_C et T_F est donnée par : $e_{Carnot} = \frac{T_F}{T_C - T_F}$.
- Calculer e_{Carnot} , en conservant deux chiffres significatifs pour le résultat final.
- 4.6** - Comparer e_F à e_{Carnot} . Le fonctionnement du plan thermostaté à effet Peltier peut-il être considéré comme réversible ?
- On donne les valeurs numériques suivantes :
- $\varepsilon_n = -205 \mu V \cdot K^{-1}$; $\varepsilon_p = 185 \mu V \cdot K^{-1}$; $T_C = 295 K$; $T_F = 285 K$ et $I = 3,00 A$.

5 - ÉTUDE DE LA CONDUCTION THERMIQUE.

On prend maintenant en compte la conduction thermique dans les barreaux semi-conducteurs. On note :

- λ la conductivité thermique, supposée indépendante de la température, des semi-conducteurs n et p ;
 - S leur section ;
 - ℓ leur longueur.
- 5.1** - L'expression de la résistance thermique est $R_{th} = \frac{\ell}{\lambda S}$; on trouve $R_{th} = 167 K^{-1} \cdot W$.
- Justifier l'unité de R_{th} par une analyse dimensionnelle.
- 5.2** - Calculer le flux thermique Φ qui traverse l'ensemble des deux barreaux d'un module élémentaire.
- 5.3** - Montrer que le flux thermique dans l'ensemble des 69 modules est : $\Phi_{total} \approx 8,3 W$.
- 5.4** - Flécher le sens du flux thermique Φ_{total} entre les deux sources et le plan thermostaté sur le **document réponse n° 7 page 19/19**.
- 5.5** - En déduire les puissances thermiques P'_C et P'_F réellement échangées avec les deux sources (en tenant compte des transferts par conduction).
- 5.6** - Calculer la nouvelle efficacité frigorifique e'_F . Quelle est ici la cause d'irréversibilité du fonctionnement du plan ?

Rappel : loi de Fourier : $\Phi_{A \rightarrow B} = \frac{(T_A - T_B)}{R_{th}}$.

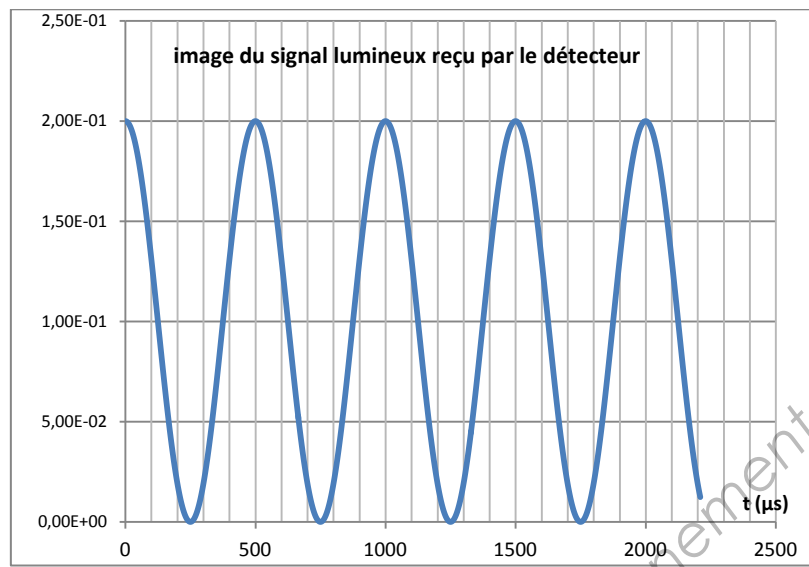
On donne les valeurs numériques suivantes :

$T_C = 295 K$; $T_F = 285 K$; $\lambda = 1,2 W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$; $\ell = 3 mm$; $S = 15 mm^2$;

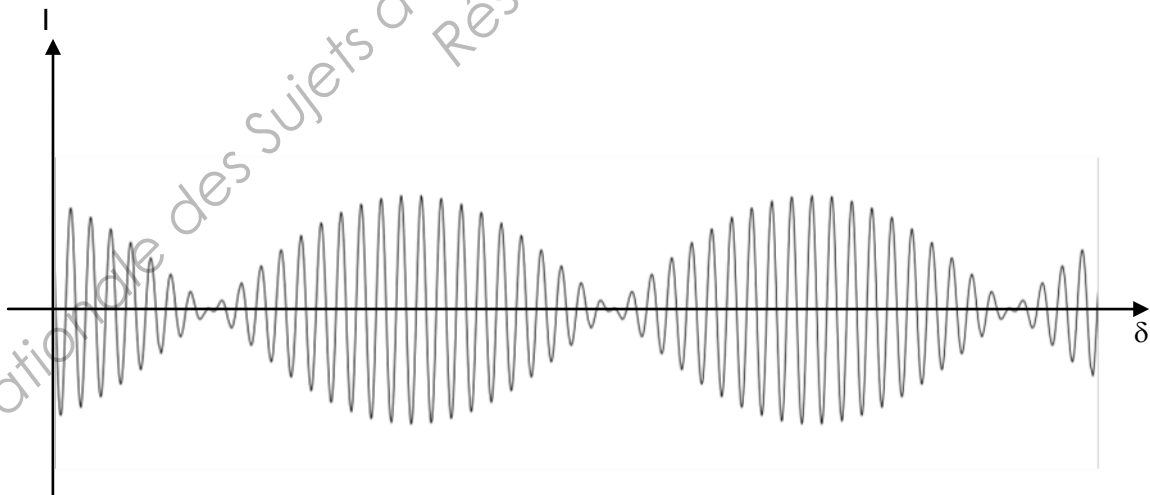
$P_C = -23,8 W$; $P_F = 23,0 W$ et $P_E = 0,8 W$.

BTS TECHNIQUES PHYSIQUES POUR L'INDUSTRIE ET LE LABORATOIRE	Session 2014
Nom de l'épreuve : Sciences physiques	Code : TPSP
	Page : 15/19

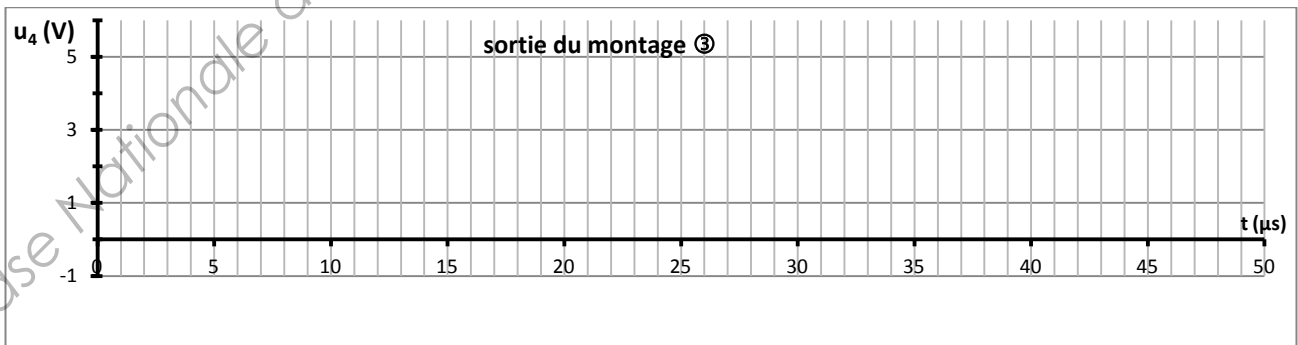
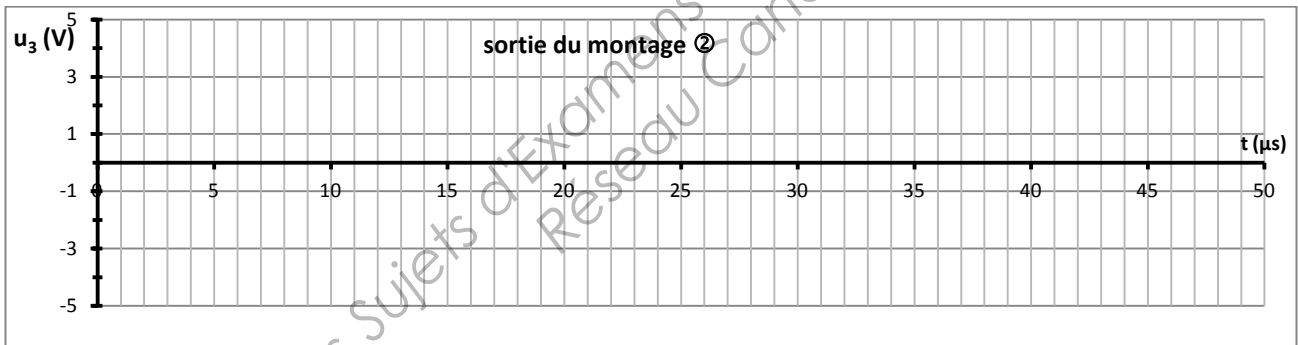
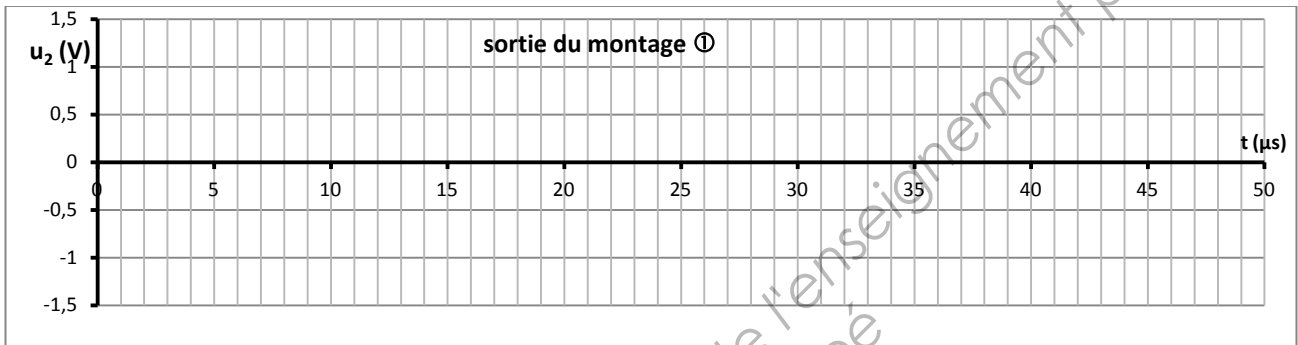
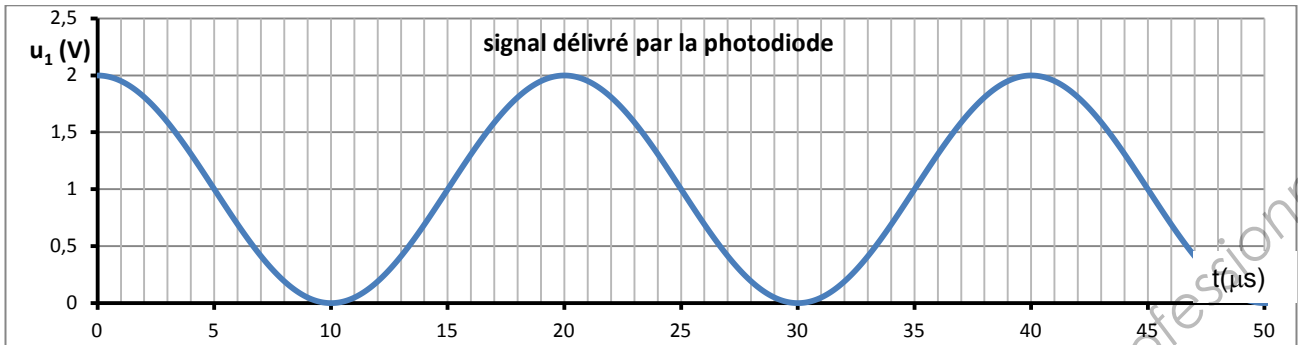
DOCUMENT RÉPONSE N°1 : PARTIE OPTIQUE
À RENDRE AVEC LA COPIE



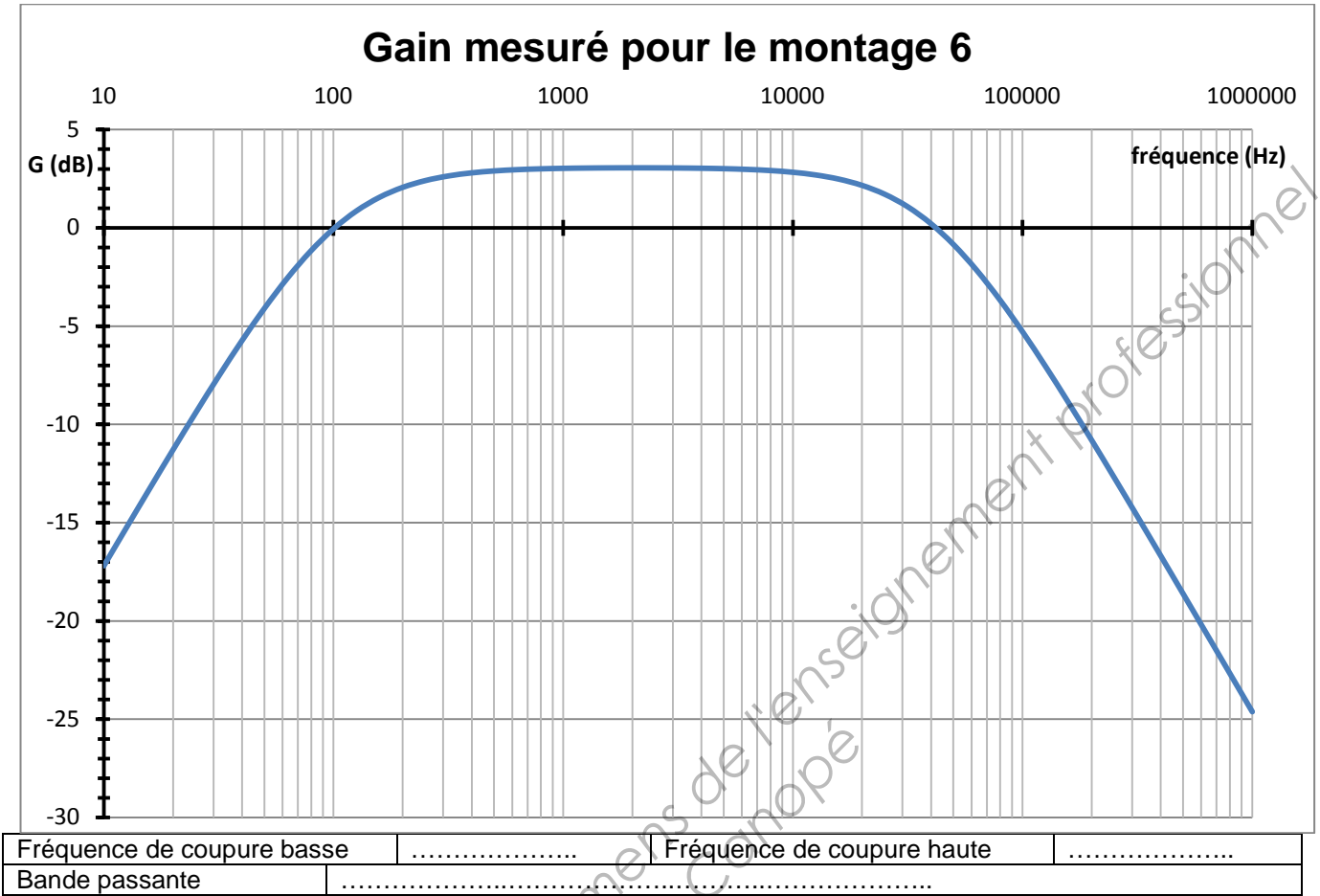
DOCUMENT RÉPONSE N°2 : PARTIE OPTIQUE
À RENDRE AVEC LA COPIE



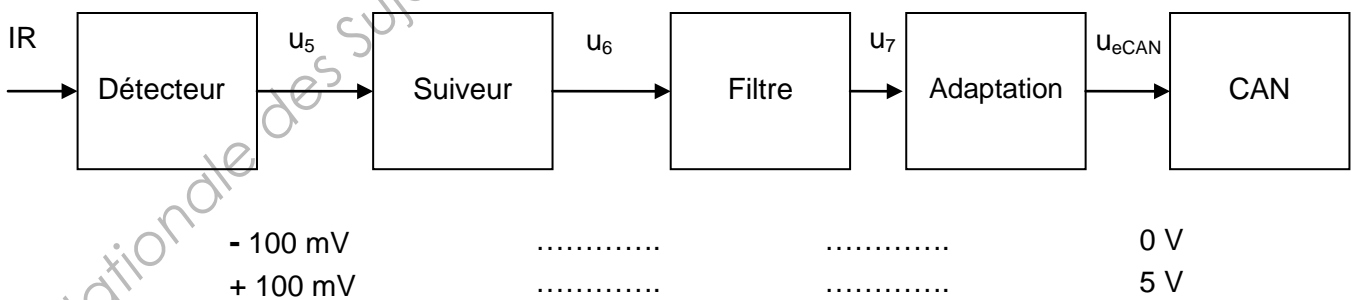
DOCUMENT RÉPONSE N°3 : PARTIE ÉLECTRICITÉ
À RENDRE AVEC LA COPIE



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



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



DOCUMENT RÉPONSE N°6 : PARTIE MÉCANIQUE, THERMODYNAMIQUE ET CHIMIE
À RENDRE AVEC LA COPIE

Source chaude
à la température T_C

Plan
thermostaté

Source froide
à la température T_F

Générateur
électrique

DOCUMENT RÉPONSE N°7 : PARTIE MÉCANIQUE, THERMODYNAMIQUE ET CHIMIE
À RENDRE AVEC LA COPIE

Source chaude
à la température T_C

Plan
thermostaté

Source froide
à la température T_F