Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV©

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour en savoir plus sur nos formations disponibles, veuillez visiter :
www.formav.co/explorer

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

TECHNIQUES PHYSIQUES POUR L'INDUSTRIE ET LE LABORATOIRE

ÉPREUVE DE SCIENCES PHYSIQUES (U3)

SESSION 2012

_____

Durée : 4 heures
Coefficient : 4

_____

Base Nationale de l'enseignement professionnel
réseau SCEREN

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 TROIS PARTIES **INDÉPENDANTES** :

PARTIE ÉLECTRICITÉ ..... pages 2/13 à 6/13
PARTIE OPTIQUE ..... pages 7/13 à 9/13
PARTIE MÉCANIQUE, THERMODYNAMIQUE ET CHIMIE ..... pages 10/13 à 11/13

Documents à rendre et à agrafer avec la copie :

- Document réponse n° 1 (partie électricité) ..... page 12/13
- Document réponse n° 2 (partie optique) ..... page 13/13

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Le sujet se compose de 13 pages, numérotées de 1/13 à 13/13.

PARTIE ÉLECTRICITÉ (durée conseillée 1 h 30)

L'ÉNERGIE PHOTOVOLTAÏQUE

Le sujet traite certains aspects que l'on retrouve dans une centrale de production d'électricité à partir de l'énergie du soleil.

1 - PROPOSITION ET VALIDATION D'UN MODÈLE ÉQUIVALENT POUR UN CAPTEUR PHOTOVOLTAÏQUE.

Dans une centrale de production d'électricité photovoltaïque le panneau de capteurs photovoltaïques peut se modéliser comme un dipôle actif donc, capable de se comporter comme un générateur **figure 1**.

équivalent à

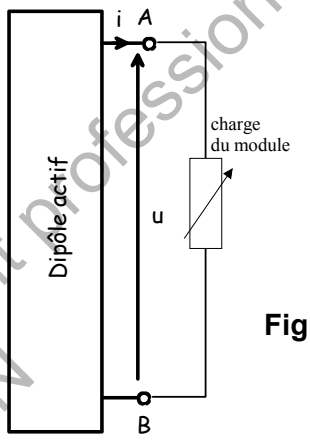


Figure 1

Un modèle équivalent simple pour ce panneau photovoltaïque, vu des points A et B, est proposé à la **figure 2**, ou I est un courant d'intensité proportionnel à l'éclairement. En fonction de la charge du module, il apparait une tension u entre les points A et B et il délivre alors un courant i.

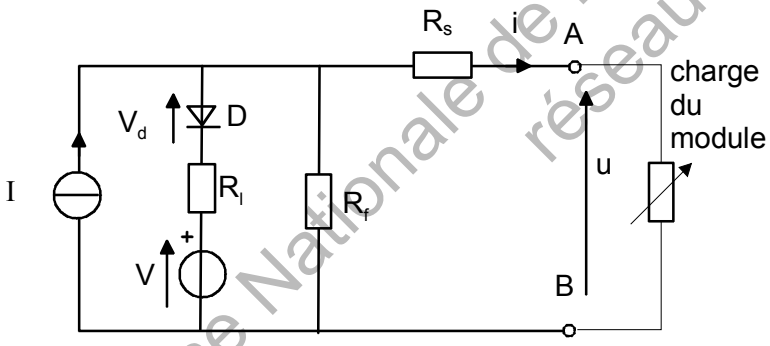


Figure 2

Les valeurs associées à ce modèle pour un éclairement de 1000 $W.m^{-2}$ sont :

I = 3,1 A V = 17,2 V V_d = 0,7 V

R_s = 1 mΩ R_f = 150 Ω R_l = 1,15 Ω

Hypothèse : Dans l'étude qui suit, on ne tient pas compte des résistances R_s et R_f.

1.1 - Sur votre copie, refaire le schéma de la **figure 2** en prenant en compte l'hypothèse précédente.

1.2 - On court-circuite les points A et B.

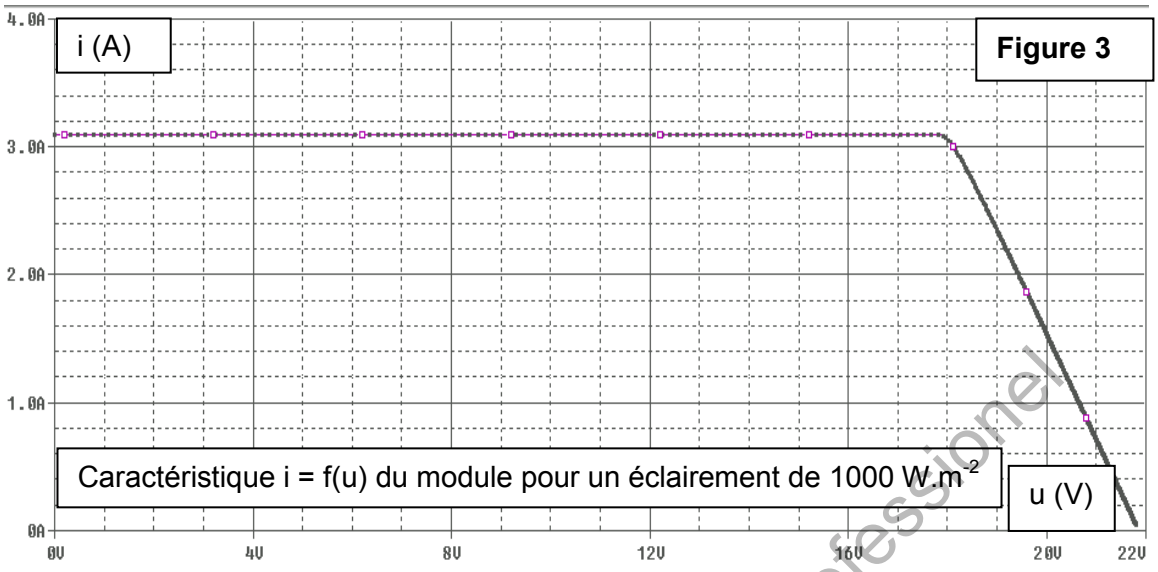
1.2.1 - Justifier que la diode D est bloquée.

1.2.2 - Exprimer et donner la valeur du courant de court-circuit, noté i_{cc}.

1.3 - Le panneau est à vide (i = 0). Exprimer puis calculer la tension à vide entre les points A et B.

Base Nationale de l'Enseignement Professionnel réseau SCEREN

1.4 - La simulation du comportement du panneau en charge a donné la caractéristique i = f(u) (**figure 3**) :



En utilisant cette **figure 3** :

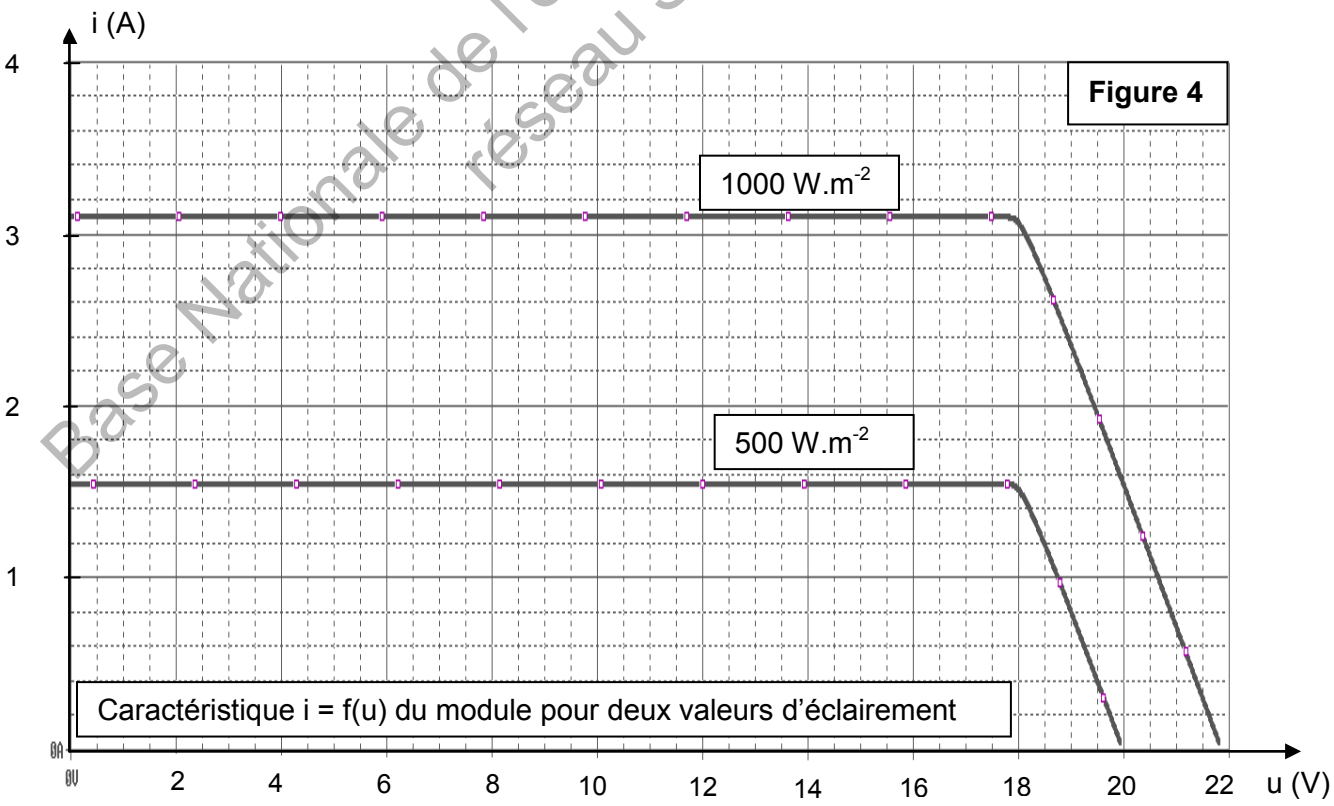
1.4.1 - Donner les coordonnées de la tension à vide et du courant de court circuit.

1.4.2 - Pour quel intervalle de tension, le panneau solaire se comporte-t-il comme un générateur de courant idéal ?

1.4.3 - Proposer sur votre copie, un modèle simple du panneau photovoltaïque, vu des points A et B pour cet intervalle de tension.

1.5 - <u>Influence de l'éclairement sur les performances du panneau photovoltaïque</u>.

Lorsque le ciel est nuageux, l'énergie reçue par le panneau diminue. On relève ci-dessous les caractéristiques i = f(u) du panneau pour une puissance reçue par unité de surface de 500 W.m^{-2} et pour une autre de 1000 W.m^{-2} (**figure 4**).



Base Nationale de l'enseignement professionnel
réseau SCEREN

À partir de cette caractéristique, on peut définir la puissance maximale P, fournie par le panneau lorsque le produit (u . i) est maximal.

1.5.1 - À partir du relevé **figure 4**, calculer la puissance maximale fournie par le panneau pour les deux éclairements.

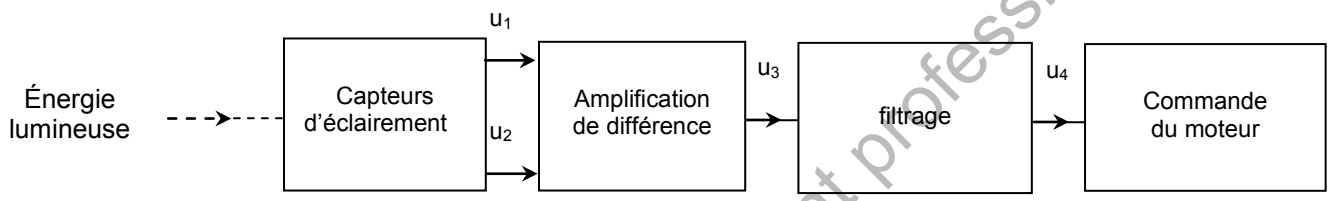
1.5.2 - Si l'on veut que le panneau solaire fonctionne à puissance maximale, lorsque l'éclairement varie, il faut « adapter » la charge que le module alimente.

Indiquer, sur la **figure 9** du **document réponse n° 1**, les deux points de fonctionnement correspondant aux conditions optimales puis déterminer les valeurs des deux résistances de charge correspondantes.

2 - ÉTUDE DU CAPTEUR DE MESURE DE L'ÉCLAIREMENT.

Sur les grosses installations photovoltaïques il est prévu de régler l'orientation du panneau à l'aide de capteurs d'éclairement afin de commander un moteur d'orientation des panneaux.

Schéma fonctionnel du capteur d'éclairement



Synoptique du détecteur

Remarques :

Dans les schémas, les amplificateurs opérationnels sont supposés parfaits et sont alimentés entre $+ V_{cc}$ et $- V_{cc}$, avec $V_{cc} = 12$ V ; les tensions de saturation sont : $+ V_{sat} = 12$ V et $- V_{sat} = - 12$ V. On notera e^+ le potentiel de l'entrée non inverseuse et e^- celui de l'entrée inverseuse.
Tous les potentiels sont référencés à la masse (0V).

2.1 - Étude du capteur d'éclairement réalisé à partir de récepteurs infrarouges (figures 5 et 6).

Lorsque l'orientation du panneau est optimale, les photodiodes D_1 et D_2 reçoivent le même éclairement de 0,1 W.cm^{-2} et les courants i_1 et i_2 sont égaux, leur valeur étant de 10 µA.

On donne $R_1 = R_2 = 100$ kΩ.

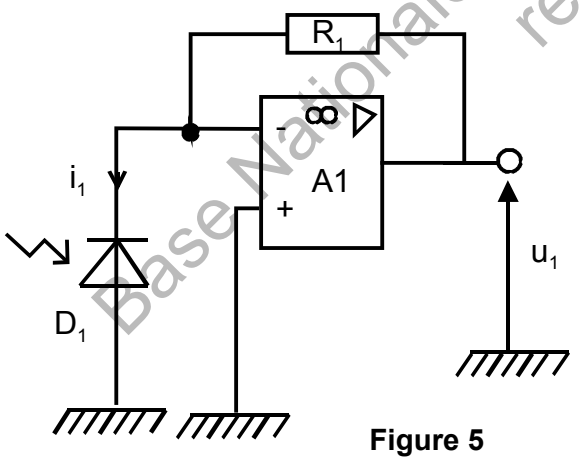


Figure 5

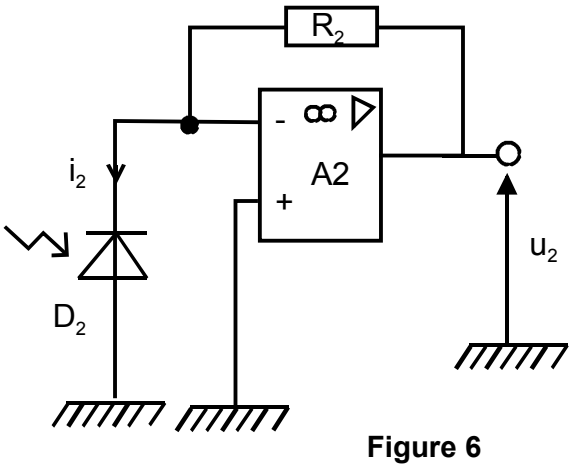


Figure 6

2.1.1 - Déterminer le mode de fonctionnement des amplificateurs opérationnels A1 et A2. Justifier.

2.1.2 - Déterminer l'expression de la tension u_1 en fonction de i_1 et R_1. Calculer numériquement u_1.

2.1.3 - De la même façon, donner l'expression de la tension u_2 en fonction de i_2 et R_2. Calculer u_2.

Base Nationale de l'enseignement professionnel réseau SCEREN

Lorsqu'il n'y a pas une orientation optimale du panneau solaire, les courants des photodiodes D_1 et D_2 sont différents, car les deux capteurs ne pointent pas dans la même direction.

On supposera que le courant $i_2 = \alpha\, i_1$, avec $0 < \alpha < 1$.

2.1.4 - Déterminer l'expression de la tension u_2 en fonction de α, i_1 et R_1.

2.1.5 - Application numérique : $i_1 = 10\ \mu A$, $\alpha = 0.7$. Calculer u_1 et u_2.

2.2 - Étude de l'amplificateur différentiel (figure 7)

Ce montage (**figure 7**) permet d'obtenir en sortie une tension u_3 fonction de la différence d'éclairement entre les photodiodes D_1 et D_2.

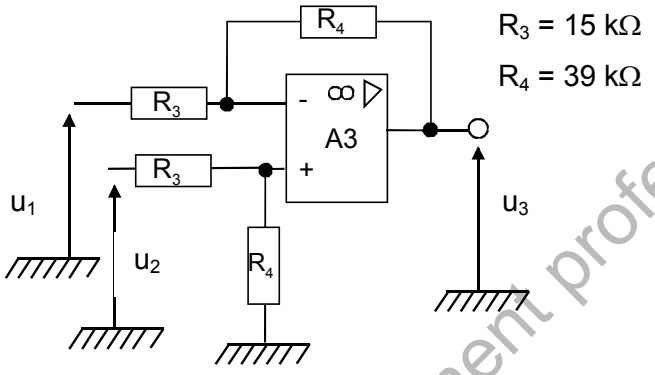


Figure 7

2.2.1 - Déterminer l'expression de la tension e^+, disponible sur l'entrée non inverseuse, en fonction de R_3, R_4 et u_2.

2.2.2 - Déterminer l'expression de la tension e^-, disponible sur l'entrée inverseuse, en fonction de R_3, R_4, u_1 et u_3.

2.2.3 - En déduire l'expression de u_3.

2.2.4 - D'après le résultat de la question 2.1.4, exprimer u_3 en fonction de R_3, R_4, α, i_1 et R_1. (On rappelle que $R_1 = R_2$).

2.3 - Filtrage

Afin de traiter l'information issue du montage de la **figure 7**, on ajoute un filtre après l'amplificateur de différence précédent. Sa fonction est de s'affranchir des perturbations (parasites..) qui pourraient influencer la commande du moteur d'orientation.

Le diagramme du gain $G_{dB} = 20 \log (T)$ associé à la fonction de transfert complexe $\underline{T} = \underline{U_4} / \underline{U_3}$ est représenté à la **figure 8**.

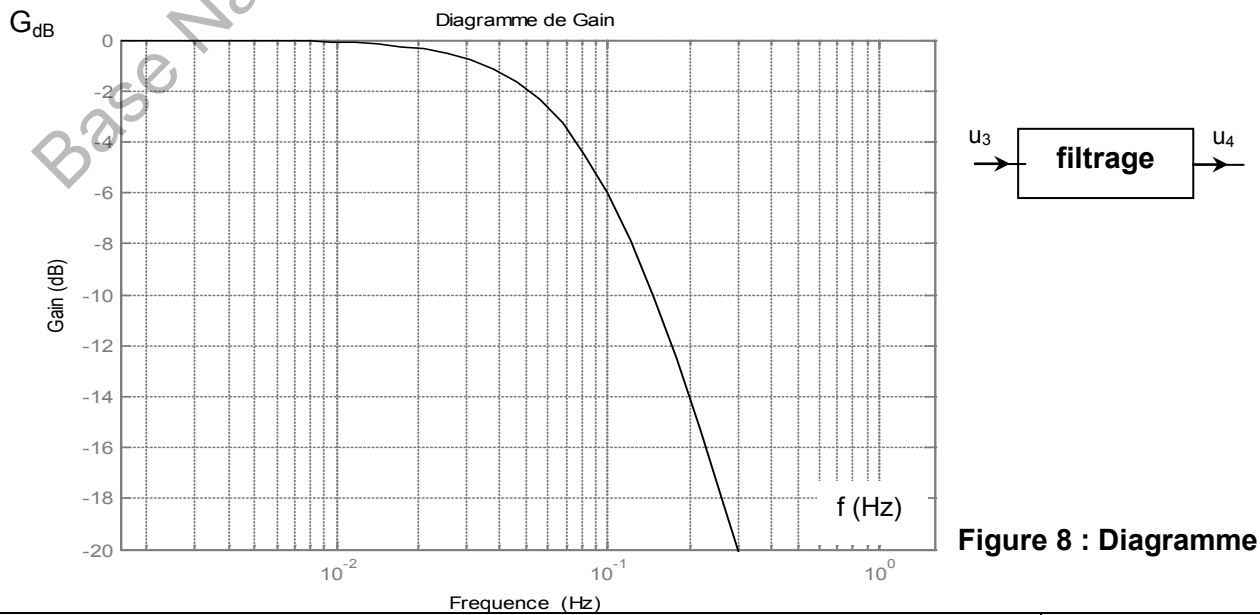


Figure 8 : Diagramme de gain

Base Nationale de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

2.3.1 - On admet que la fonction de transfert du filtre peut se mettre sous la forme $\underline{T}(f) = \dfrac{T_0}{1 + j\dfrac{f}{f_c}}$.

Exploiter la **figure 8** afin de déterminer T_0 et f_c. Préciser la nature du filtre.

2.3.2 - On admet que la tension $u_3(t)$ à l'entrée du filtre a pour expression.

$$u_3(t) = U_{30} + U_{31} \sin(2\pi f_0 t) + U_{32} \sin(4\pi f_0 t) + \ldots$$

avec $f_0 = 2.10^{-1}$ Hz, $U_{30} = 5$ V, $u_{31} = 2$ V, $u_{32} = 1$ V.

2.3.2.1 - Tracer le spectre d'amplitude de $u_3(t)$ sur la **figure 10** du **document réponse n° 1**, en y portant toutes les informations utiles.

2.3.2.2 - En admettant que le filtre est parfait, dessiner sur votre copie l'allure de la tension $u_4(t)$. Conclure alors sur l'action du filtre.

Base Nationale de l'enseignement professionnel
réseau SCEREN

PARTIE OPTIQUE (durée conseillée 1 h 15)

ÉTUDE D'UN MODULATEUR D'INTENSITÉ LUMINEUSE

Les 3 parties sont indépendantes.
Les documents réponses à rendre avec la copie se trouvent à la fin du sujet.

Un modulateur d'intensité lumineuse est couramment utilisé en télécommunication afin de convertir des impulsions électriques binaires en impulsions lumineuses. Les impulsions lumineuses contenant l'information sont destinées à être transmises par fibre optique.
Ce modulateur est constitué d'une lame dont l'indice n'est commandé par une tension, associée à un interféromètre de Mach-Zehnder.

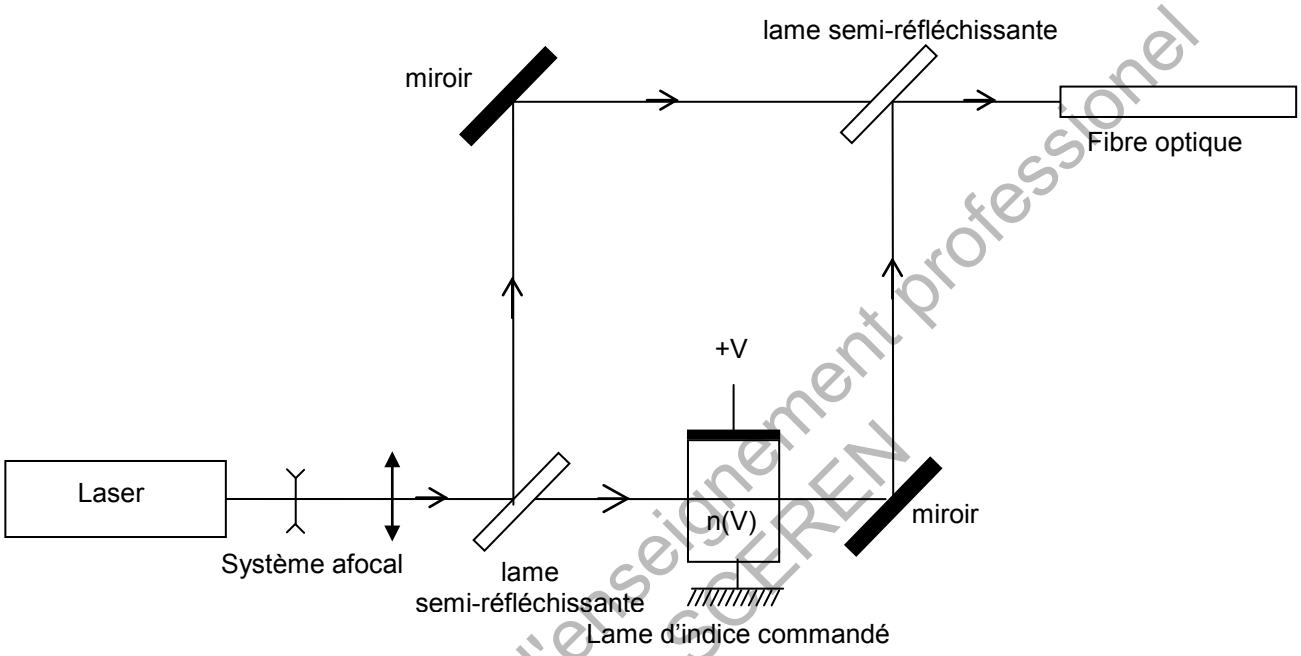


Figure 11 : Schéma du modulateur électro-optique

Base Nationale de l'enseignement professionnel
réseau SCEREN

Partie 1 : Dispositif d'éclairage du modulateur

1.1 - Étude d'une source Laser polarisée

On étudie un laser He-Ne de longueur d'onde $\lambda_0 = 632{,}8$ nm polarisé rectilignement.

1.1.1 - Quelle est la couleur du faisceau laser ?

1.1.2 - Calculer, en électronvolt, l'énergie E_{ph} du photon associé.

1.1.3 - Décrire une méthode (en s'aidant d'un schéma) permettant de déterminer la direction de polarisation du laser.

On donne la constante de Planck : $h = 6{,}63.10^{-34}$ J.s, la vitesse de la lumière dans le vide : $c = 3{,}00.10^{8}$ m.s^{-1} et 1 eV = $1{,}602.10^{-19}$ J.

Dans la suite on utilisera un Laser non polarisé.

1.2 - Étude du système afocal

Le système est constitué de 2 lentilles L_1 et L_2 de focales respectives $f'_1 = -5$ cm et $f'_2 = 25$ cm.

1.2.1 - Compléter la **figure 12** du **document réponse n° 2** en traçant la marche d'un rayon incident parallèle à l'axe optique. Le schéma de la **figure 12** n'est pas à l'échelle.

1.2.2 - Calculer le grossissement G_c du système.

1.2.3 - Le faisceau laser ayant un diamètre d = 2 mm, calculer le diamètre d' du faisceau à la sortie du système afocal.

Partie 2 : Étude du moteur : interféromètre de Mach Zehnder

L'interféromètre de Mach-Zehnder est un interféromètre à division d'amplitude proche de l'interféromètre de Michelson. Les optiques (lames semi réfléchissantes et miroirs) seront considérées comme parfaites. L'interféromètre est réglé de telle sorte que la différence de marche entre les deux rayons qui interfèrent soit nulle en l'absence de lame mince. Le système est utilisé avec une source Laser non polarisée.
La longueur d'onde dans le vide du laser vaut λ_0 : λ_0 = 632,8 nm.

2.1 - Utilisation avec une lame de verre

On place dans l'un des bras de l'interféromètre une lame mince d'indice n et d'épaisseur e (**figure 13**).

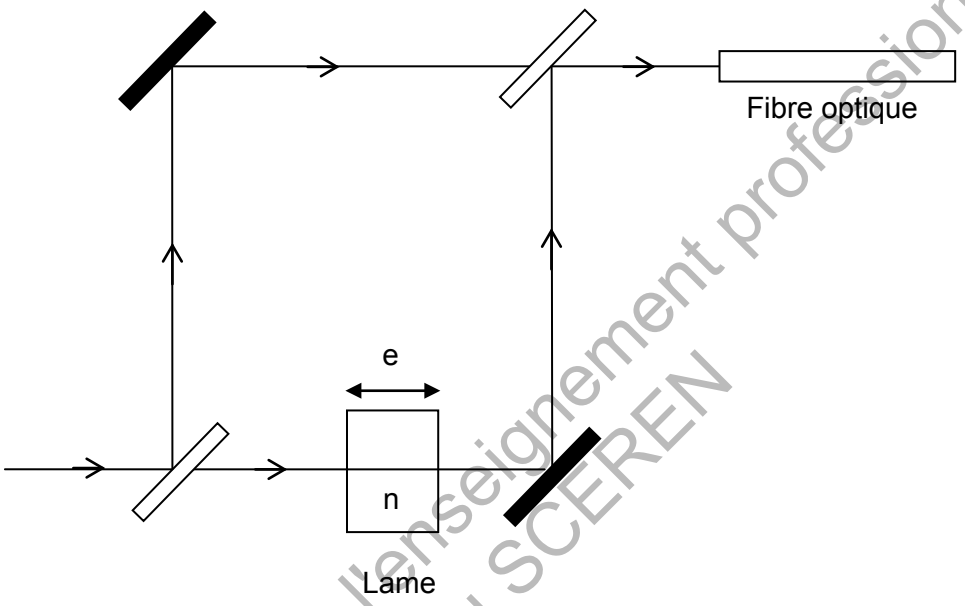


Figure 13 : Schéma du Mach-Zehnder

2.1.1 - Établir l'expression du déphasage Φ entre les 2 rayons qui interfèrent à la sortie du Mach-Zehnder, en fonction de n, e et λ_0.

2.1.2 - On prendra n = 1,516. On admettra que l'éclairement E', obtenu à la sortie de l'interféromètre, a pour expression : $E' = 2E\left[1 + \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda_0} e(n - 1)\right)\right]$.

Exprimer les épaisseurs e_k de la lame mince en fonction de λ_0, n et k (k est entier) pour obtenir un éclairement E' = 0 à la sortie du Mach-Zehnder.

2.2 - Utilisation avec la lame commandée en tension

On remplace la lame de verre précédente par la lame commandée en tension. On assimile cette lame à une lame mince d'épaisseur e et d'indice n(V) variable en fonction d'une tension V que l'on applique aux bornes de la lame (**figure 11**).

On admet que $n(V) = n_0 - \frac{1}{2} n_0^3 . \alpha . V$ où α est un coefficient caractéristique du matériau.

2.2.1 - Exprimer le déphasage Φ_P entre les 2 rayons qui interfèrent à la sortie du Mach-Zehnder, en fonction de n_0, e, V, α et λ_0.

Base Nationale de l'enseignement professionnel
réseau SCEREN

2.2.2 - La cellule a une épaisseur e = 10 µm. On prendra n_0 = 2,27.
Calculer la valeur de Φ_P lorsque V = 0 volt. En déduire si l'éclairement est maximum ou minimum à la sortie de l'interféromètre.

Partie 3 : Étude de la fibre optique

Le signal lumineux est envoyé vers une fibre optique représentée **figure 14**. L'ouverture numérique ON de la fibre est définie par la relation $ON = n_a \sin \theta_M$, n_a étant l'indice de l'air et θ_M la valeur maximale de l'angle d'injection θ.

On admettra la relation : $ON = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$.

On donne n_1 = 1,51 et n_2 = 1,45.

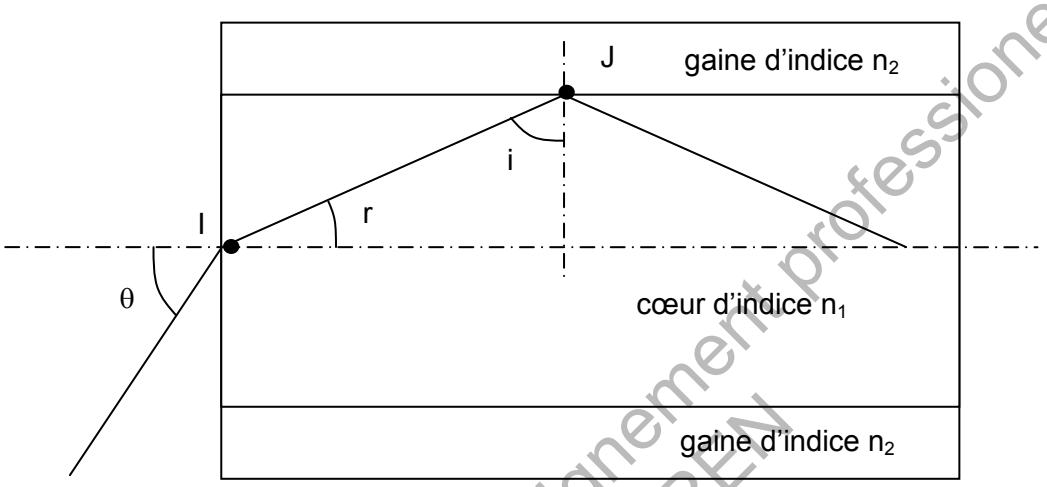


Figure 14 : Fibre optique

3.1 - Indiquer de quel type de fibre il s'agit.

3.2 - Calculer l'ouverture numérique de la fibre ainsi que l'angle θ_M.

Base Nationale de l'enseignement professionnel réseau SOEREN

PARTIE MÉCANIQUE, THERMODYNAMIQUE ET CHIMIE (durée conseillée 1 h 15 min)

ÉTUDE DU POUVOIR CALORIFIQUE D'UN HYDROCARBURE

Les chaleurs de réaction, en particulier les pouvoirs calorifiques, sont mesurés expérimentalement dans des bombes calorimétriques. Les transformations étudiées sont alors isochores et l'on détermine *les chaleurs de réactions à volume constant* Q_v

La combustion des carburants (mélange d'hydrocarbures, avec une forte proportion d'octane) dans les chambres de combustion (cylindre d'un moteur thermique), ou dans les foyers, s'effectue le plus souvent à pression constante. La connaissance des *chaleurs de réactions à pression constante* Q_p sont alors déterminantes.

On constate qu'il est alors essentiel de connaître la relation entre les chaleurs de réactions Q_v et Q_p.

Partie 1 : Étude thermodynamique

Le système étudié est au repos c'est-à-dire qu'il n'y a pas de variation de l'énergie potentielle de pesanteur ou de l'énergie cinétique du système. Les parois du système sont mobiles et perméables à la chaleur. Il n'y a que les forces de pression qui travaillent.

1.1 - Écrire le premier principe dans le cas d'une transformation qui amène le système de l'état initial i et à l'état final f. On note U_i et U_f les énergies internes respectivement dans l'état i et dans l'état f. De même on note : Q_{if} la quantité de chaleur échangée avec l'extérieur, W_{if} la quantité de travail échangée avec l'extérieur.

1.2 - Donner l'expression de la quantité de travail W_{if} en fonction des variables pression p et volume V du système au cours de la transformation.

1.3 - Montrer que dans le cas d'une transformation isochore le premier principe se simplifie.

1.4 - L'expression de l'enthalpie est : $H = U + pV$. La transformation étudiée est maintenant isobare $p = P$ = Constante. On note V_i et V_f les volumes dans l'état i et dans l'état f.

1.4.1 - Établir l'expression du travail W_{if} en fonction de P, V_i et V_f.

1.4.2 - Montrer que dans le cas d'une transformation isobare la variation d'enthalpie $H_f - H_i$ est égale à Q_{if}.

Partie 2 : Étude de la réaction

La réaction de combustion complète d'un hydrocarbure de formule brute C_xH_y est :

$$C_xH_{y\,(liquide)} + (x + y/4)O_{2\,(gaz)} \rightarrow xCO_{2\,(gaz)} + (y/2)H_2O_{(gaz)}.$$

Cette réaction est étudiée à température constante T. Dans la réalité on réalise $T = T_i = T_f$. À cette température tous les composés sont gazeux sauf l'hydrocarbure. On rappelle que le produit pression par volume d'un liquide est négligeable devant celui d'un gaz. On admet que les gaz se comportent comme des gaz parfaits ($R = 8{,}314\ J.K^{-1}.mol^{-1}$).

2.1 - Vérifier la conservation de la matière dans la réaction de combustion.

2.2 - Établir la variation du nombre de moles de gaz du système réactionnel en fonction de y : Δn.

2.3 - Écrire les enthalpies H_i dans l'état initial et H_f dans l'état final en fonction des énergies internes et des produits pV de chaque constituant. Montrer la relation :

$$H_f - H_i = (U_f - U_i) + (y/4)RT.$$

2.4 - Dans cette relation, les variations $H_f - H_i$ et $U_f - U_i$ peuvent être calculées sur n'importe quelle transformation qui amène le système de l'état i à l'état f.

2.4.1 - Quelle propriété de ces fonctions utilise-t-on ?

2.4.2 - Justifier, en choisissant des transformations appropriées, que l'on peut écrire :

$$Q_p = Q_v + (y/4)RT.$$

Base Nationale de l'enseignement professionnel
réseau SCEREN

Partie 3 : Étude expérimentale

La réaction de combustion se produit dans un cylindre en acier appelé bombe calorimétrique. Celui-ci est placé dans un calorimètre comprenant une quantité d'eau distillée. Après avoir mesuré la température initiale T_i de l'eau, on réalise la réaction et on mesure la température quand l'équilibre est atteint T_f. Le dispositif doit être étalonné. Il s'effectue en réalisant la combustion d'un corps dont le pouvoir calorifique (chaleur de réaction de combustion par unité de masse du combustible) est connu.
On étudie l'octane (C_8H_{18}). Pour différentes masses, on a relevé l'élévation de température.

Masse d'octane (g)	0,10	0,30	0,50	0,70	1,00
Élévation de température	0,4	1,3	2,2	3,1	4,4

Données :

- M(C) = 12,0 g.mol^{-1} ; M(H) = 1,0 g. mol^{-1}
- Pouvoir calorifique de l'acide benzoïque : 26,5.10^6 J.kg^{-1}.

3.1 - Justifier l'utilisation de l'acier dans la conception de la bombe calorimétrique. Donner les deux principaux composants chimiques de l'acier.

3.2 - Tracer sur papier millimétré la courbe de l'élévation de la température en fonction de la masse d'octane.

3.3 - En déduire la masse m d'octane correspondant à une élévation de température de 2,6°C.

3.4 - Calculer la quantité de chaleur dégagée par cette masse m d'octane sachant que la combustion de 1,00 g d'acide benzoïque fournit la même élévation de température de 2,6°C.

3.5 - Déterminer le pouvoir calorifique de l'octane en J.kg^{-1} et en J.mol^{-1}.

3.6 - Montrer que l'expression : $Q_p = Q_v + (y/4)RT$ relative à une mole d'octane s'écrit en fonction de T : $Q_p = 5{,}12.10^6 + 37{,}4.T$. Transformer cette expression pour avoir Q_p en J.kg^{-1}.

3.7 - Les carburants sont des mélanges qui ne contiennent pas que de l'octane. La valeur de Q_p à 20°C de l'essence étudiée est 4,40.10^7 J.kg^{-1}. Calculer l'écart relatif des pouvoirs calorifiques à pression constante de l'octane et de cette essence.

Base Nationale de l'enseignement professionnel réseau SCEREN

DOCUMENT RÉPONSE N° 1
À RENDRE AVEC LA COPIE

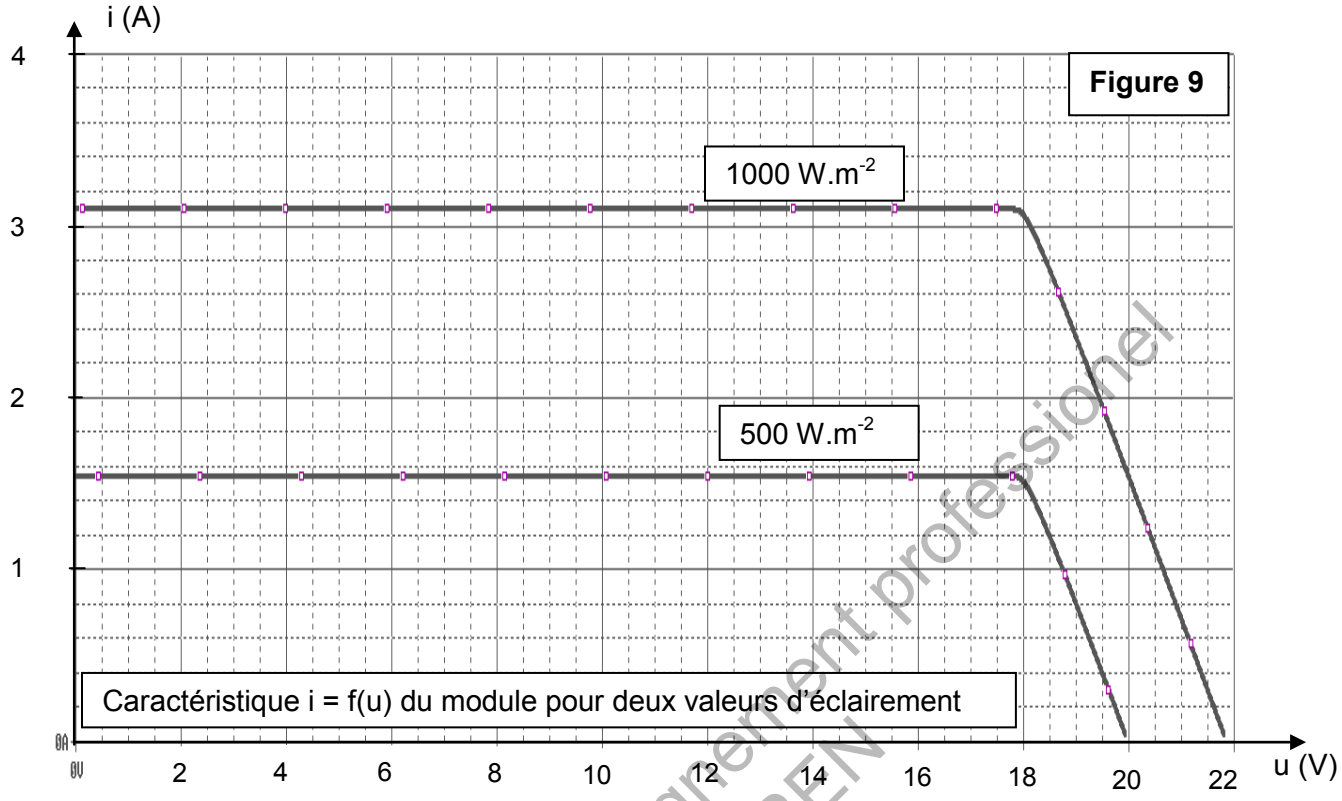
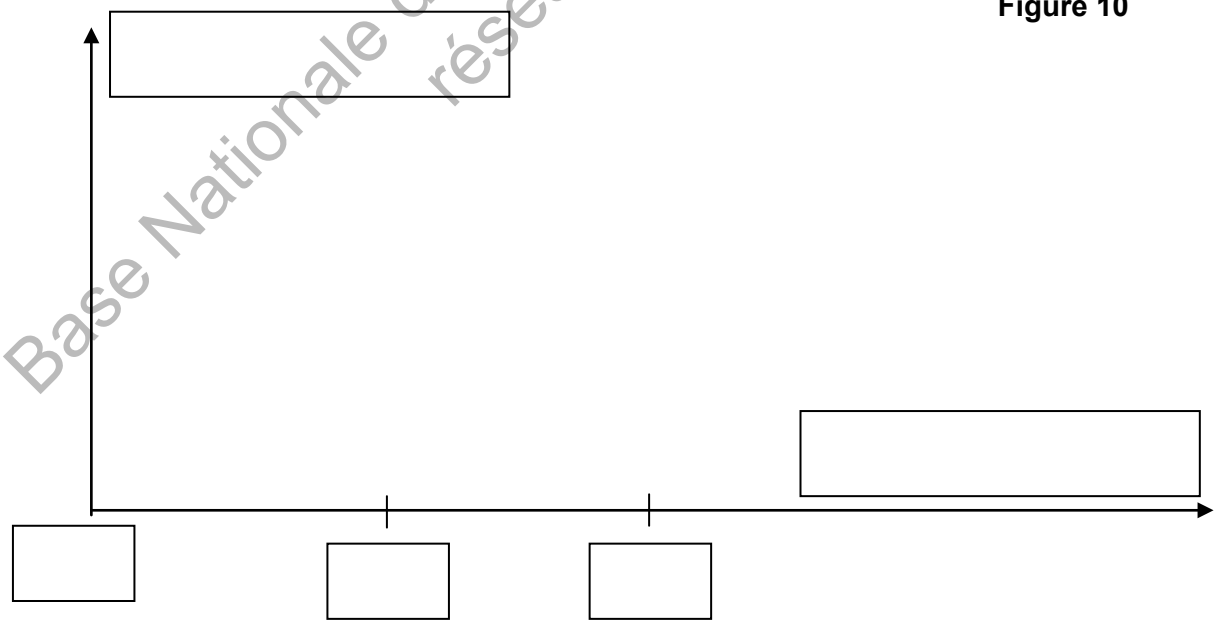


Figure 9

Base Nationale de l'enseignement professionnel
réseau SCEREN

Figure 10



DOCUMENT RÉPONSE N° 2
À RENDRE AVEC LA COPIE

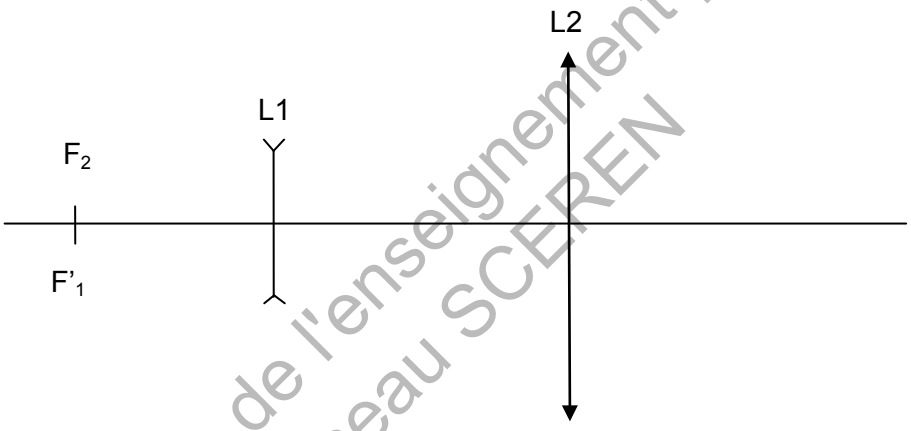


Figure 12 : système afocal

Base Nationale de l'enseignement professionnel réseau SCEREN