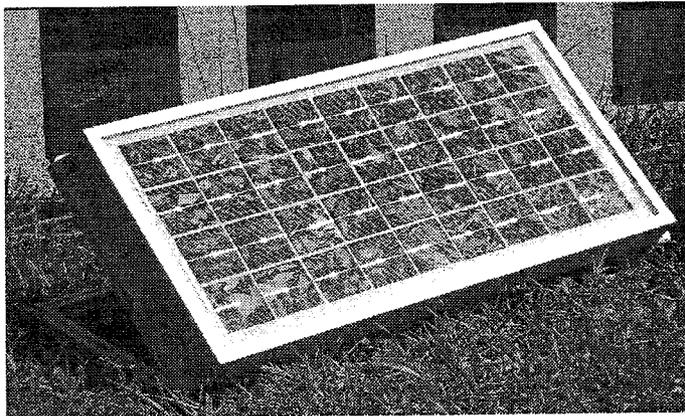


L'ÉNERGIE PHOTOVOLTAÏQUE

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

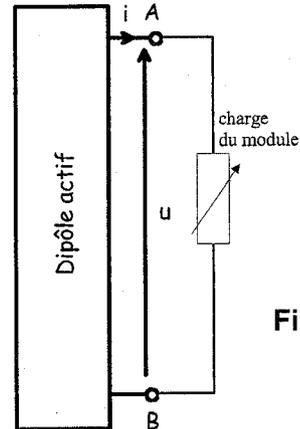


Figure 1

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

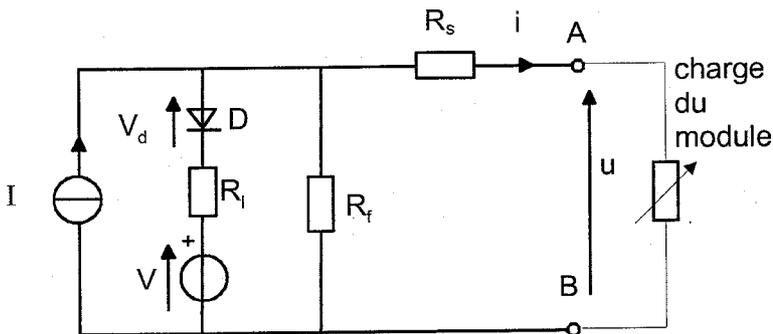


Figure 2

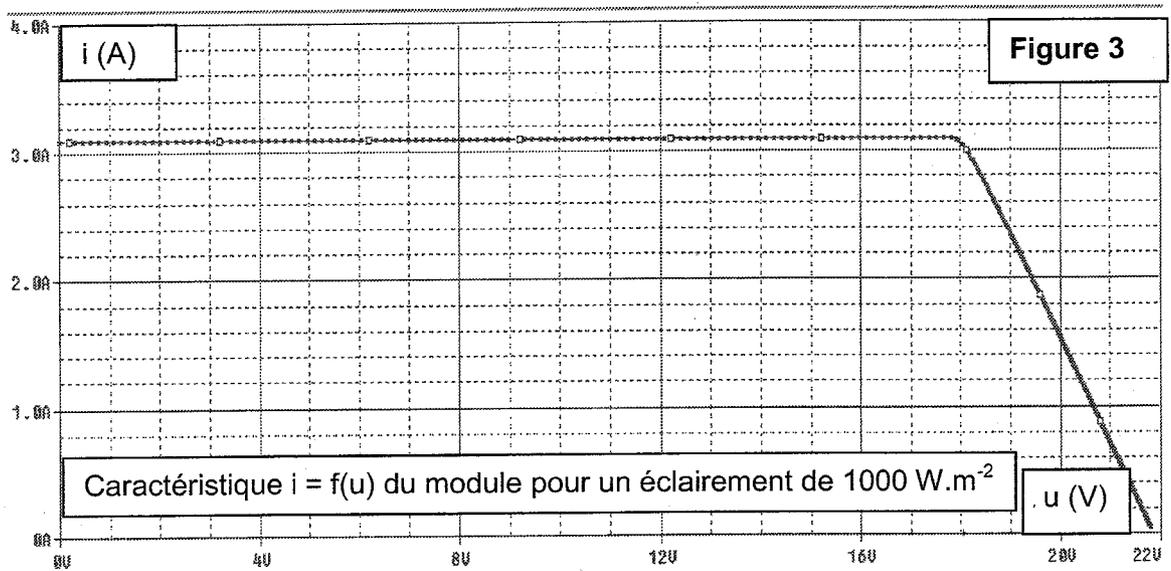
Les valeurs associées à ce modèle pour un éclairement de 1000 W.m^{-2} sont :

$$\begin{array}{lll}
 I = 3,1 \text{ A} & V = 17,2 \text{ V} & V_d = 0,7 \text{ V} \\
 R_s = 1 \text{ m}\Omega & R_f = 150 \Omega & R_1 = 1,15 \Omega
 \end{array}$$

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.

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

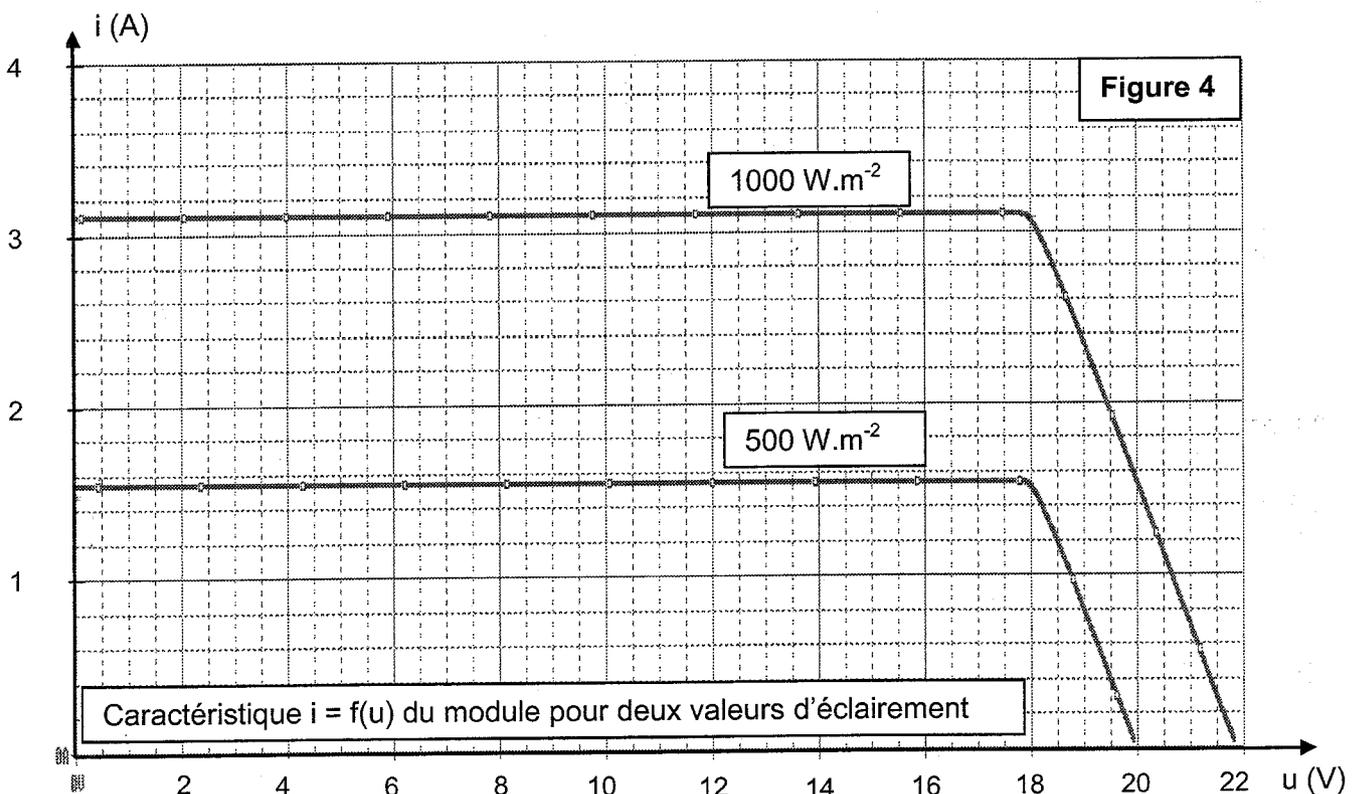


En utilisant cette figure 3 :

- 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 - Influence de l'éclairement sur les performances du panneau photovoltaïque.

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).



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

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

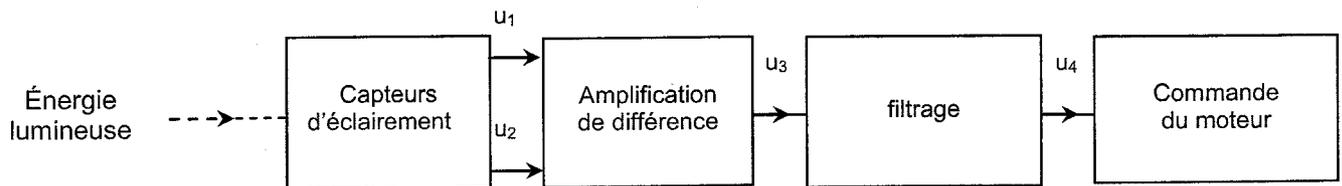
1.5.2 - Si l'on veut que le panneau solaire fonctionne à puissance maximale, lorsque l'éclairage varie, il faut « adapter » la charge que le module alimente.

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'éclairage afin de commander un moteur d'orientation des panneaux.

Schéma fonctionnel du capteur d'éclairage



Synoptique du détecteur

Remarques :

Dans les schémas, les amplificateurs opérationnels sont supposés parfaits et sont alimentés entre $+V_{cc}$ et $-V_{cc}$, avec $V_{cc} = 12\text{ V}$; les tensions de saturation sont : $+V_{sat} = 12\text{ V}$ et $-V_{sat} = -12\text{ V}$. 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'éclairage 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 éclairage de $0,1\text{ W.cm}^2$ et les courants i_1 et i_2 sont égaux, leur valeur étant de $10\text{ }\mu\text{A}$.

On donne $R_1 = R_2 = 100\text{ k}\Omega$.

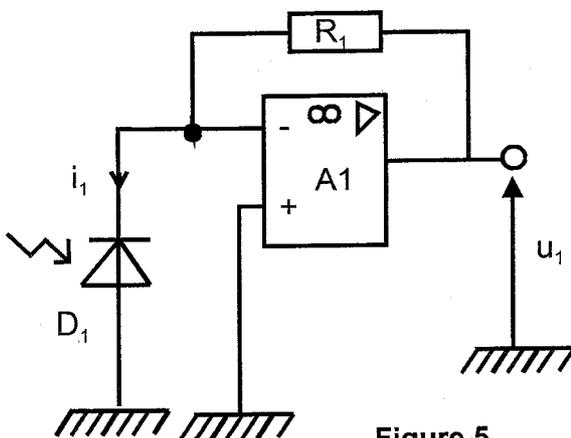


Figure 5

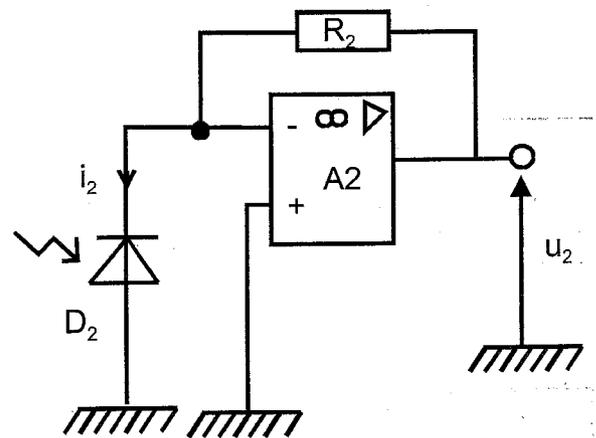


Figure 6

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 .

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 : $i_1 = 10 \mu\text{A}$, $\alpha = 0.7$. 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 .

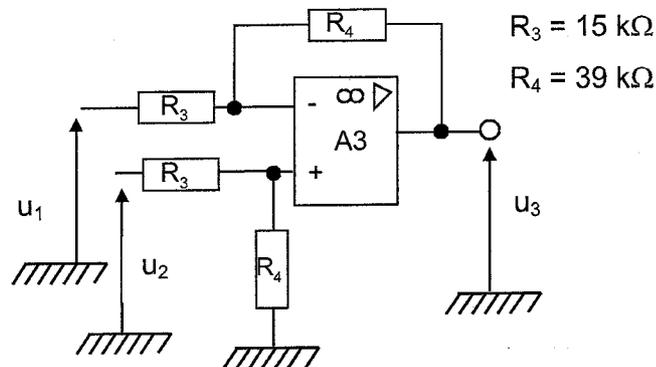


Figure 7

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 $T = U_4 / U_3$ est représenté à la figure 8.

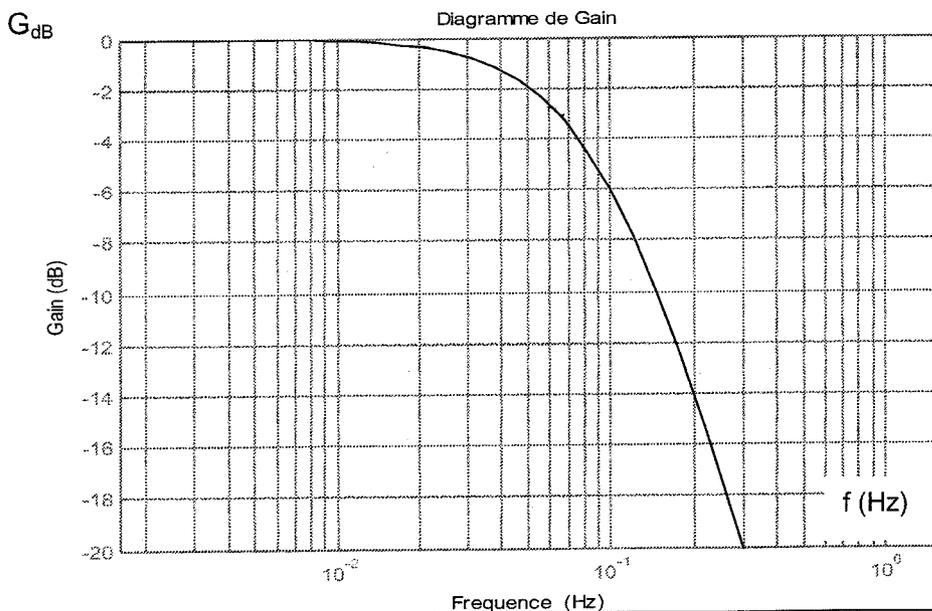


Figure 8 : Diagramme de gain

2.3.1 - On admet que la fonction de transfert du filtre peut se mettre sous la forme

$$\underline{I}(f) = \frac{T_0}{1 + j\frac{f}{f_c}}$$

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.

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

avec $f_0 = 2 \cdot 10^{-1}$ 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.

DOCUMENT RÉPONSE N° 1 À RENDRE AVEC LA COPIE

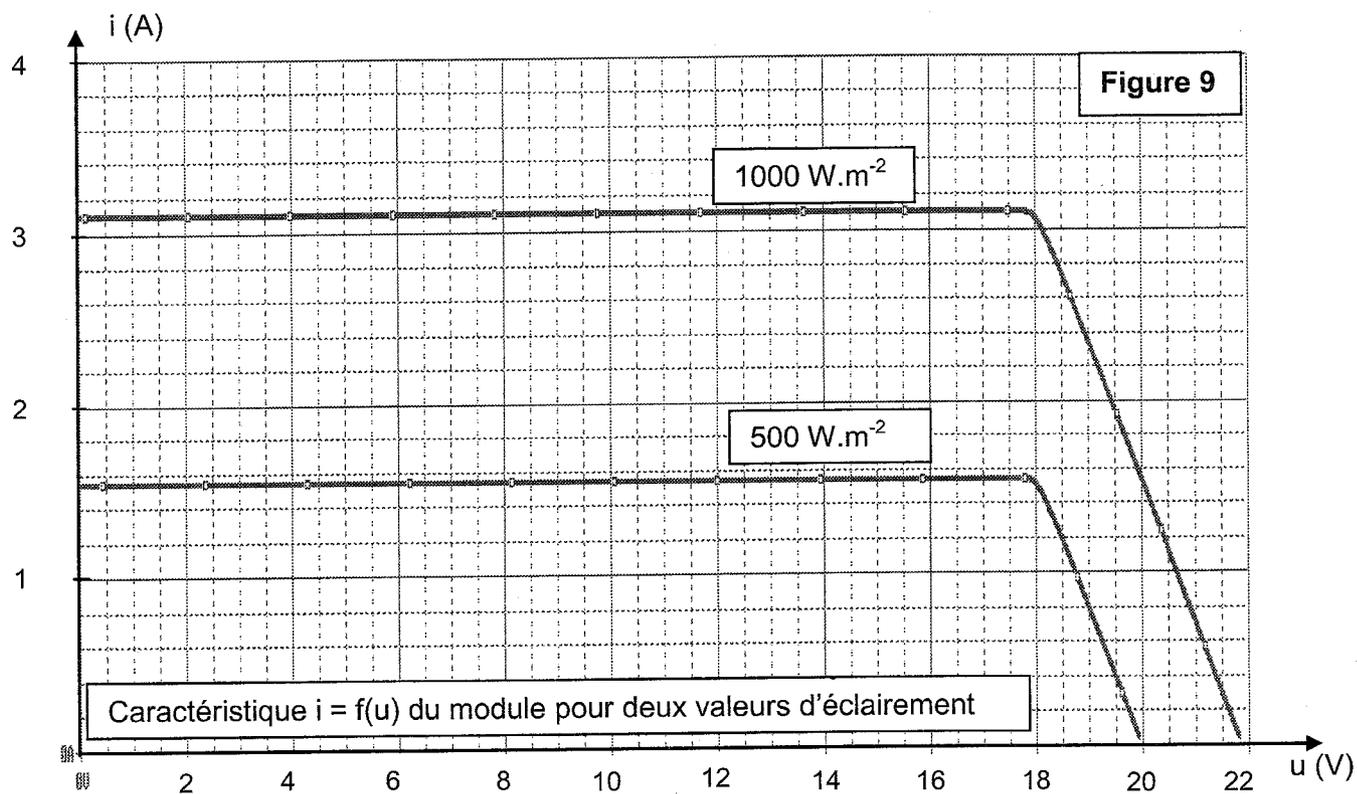


Figure 10

