

# 1 Radar pédagogique

## Énoncé

Un radar pédagogique est un radar automatique qui indique sur un panneau lumineux la vitesse du véhicule qui s'en approche. Le but n'est pas répressif mais préventif : il incite les automobilistes à ralentir pour respecter la vitesse maximale autorisée dans la zone qu'ils s'approprient à traverser. L'affichage de la vitesse est souvent accompagné d'un message. En France, ils sont installés depuis 2012 dans de nombreuses agglomérations et zones de danger. Ces radars utilisent l'effet Doppler pour déterminer la vitesse des véhicules dans le référentiel terrestre. Dans la zone étudiée, la vitesse est limitée à  $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ .

### Doc. 1 Radar pédagogique en agglomération



### Doc. 2 Décalage Doppler

On considère une source fixe  $S$ , qui émet une onde électromagnétique de fréquence  $f_e$ . Cette onde se réfléchit sur un objet qui se rapproche de la source avec une vitesse  $v$ . La fréquence  $f_r$  reçue par un récepteur fixe à côté de la source  $S$  se calcule par :

$$f_r = f_e \cdot \left(1 + 2 \frac{v}{c}\right)$$

La différence entre les deux fréquences est appelée décalage Doppler.

### Doc. 3 Radar utilisé

Le fournisseur du radar donne l'extrait de documentation suivant :

- puissance nécessaire  $50 \text{ W}$  sous  $12 \text{ V}$  ;
- mesure en continu ;
- distance de détection de  $100$  à  $200 \text{ m}$  avec une incertitude de mesure de  $3 \%$  ;
- plage de vitesse mesurable de  $2$  à  $254 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  ;
- fréquence du signal  $f_e = 24,125 \text{ GHz}$  ;
- affichage vert si la vitesse mesurée est en dessous du seuil, rouge si elle est au-dessus.

### Doc. 4 Panneau solaire

Le radar peut être équipé en option d'un panneau solaire de dimension  $850 \text{ mm} \times 950 \text{ mm}$  et de rendement annoncé de  $15 \%$ . Celui-ci est associé à une batterie longue durée qui se recharge lorsque l'appareil n'affiche pas de données.



### DONNÉE

- Célérité de la lumière dans le vide :  
 $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

## Questions résolues

### 1. Mesure d'une vitesse

- 1.1 Expliquer le principe du décalage Doppler entre le signal émis par une source fixe et le signal reçu par un objet en mouvement.
- 1.2 Justifier la présence d'un facteur 2 dans l'expression du décalage fournie.
- 1.3 Lors du passage d'une automobile en approche,

l'appareil mesure un décalage Doppler

$\Delta f = f_r - f_e = 3,44 \text{ kHz}$ . Déterminer la vitesse de la voiture.

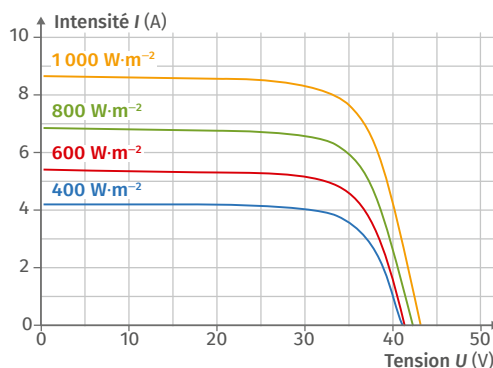
- 1.4 En tenant compte de l'incertitude fournie, donner l'intervalle dans lequel doit se trouver la vitesse réelle et en déduire la couleur d'affichage du panneau.



## 2. Autonomie du panneau

- 2.1** Rappeler le principe de l'effet photoélectrique.
- 2.2** Calculer la puissance du rayonnement lumineux reçu par la cellule photovoltaïque dans les conditions d'irradiance moyenne de la commune estimée à  $\varphi = 400 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ .
- 2.3** Vérifier, en détaillant les étapes du raisonnement, que le rendement de la cellule photovoltaïque utilisée est d'environ 10 % dans ces conditions.
- 2.4** Expliquer la présence d'une batterie en plus du panneau.

### Doc. 5 Caractéristique de la cellule



Les caractéristiques correspondent à différentes irradiances  $\varphi$ .

## Solution rédigée

- 1.1** Le signal reçu par l'objet en mouvement n'a pas la même fréquence que le signal émis par la source fixe. Le décalage entre ces deux fréquences, appelé décalage Doppler, dépend de la vitesse de l'objet. De plus, suivant que l'objet s'éloigne ou se rapproche, la fréquence perçue est plus basse ou plus élevée que la fréquence émise par la source.
- 1.2** Le radar émet l'onde en direction de l'automobile qui est en mouvement. La fréquence de l'onde reçue par la voiture est donc différente de celle qui est émise par le radar, par effet Doppler. La voiture réfléchit l'onde qui repart vers le radar : il y a donc une deuxième fois une manifestation de l'effet Doppler, ce qui explique la présence du facteur 2.
- 1.3** 
$$f_r = f_e \cdot \left(1 + 2 \frac{v}{c}\right)$$
$$v = \frac{f_r - f_e}{2 f_e} \cdot c$$
AN :  $v = \frac{3,44 \times 10^3}{2 \times 24,125 \times 10^9} \times 3,00 \times 10^8 = 21,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ Cette vitesse correspond à  $77,0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ .
- 1.4** La vitesse calculée présente une incertitude de mesure de 3 %. La vitesse de la voiture est donc comprise entre  $74,7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  et  $79,3 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ .
- 2.1** L'effet photoélectrique est un phénomène d'extraction et de mise en mouvement des électrons par un rayonnement électromagnétique. L'énergie électromagnétique du rayonnement est convertie en énergie

cinétique pour les électrons.

- 2.2** La puissance du rayonnement  $P_r$  reçue par cette cellule et dans les conditions données dépend de la surface  $S$  de celui-ci. On a donc :

$$P_r = \varphi \cdot S$$

$$\text{AN : } P_r = 400 \times 0,850 \times 0,950 = 320 \text{ W}$$

- 2.3** Pour  $\varphi = 400 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ , la caractéristique du **doc. 5** donne une intensité de sortie de 4,2 A pour  $U = 12 \text{ V}$ . La puissance électrique fournie par la cellule, dans ces conditions, est donc :

$$P_e = U \cdot I$$

$$\text{AN : } P_e = 4,2 \times 12 = 50 \text{ W}$$

Le rendement de la conversion due à l'effet photoélectrique est donc :

$$\eta = \frac{P_e}{P_r}$$

$$\text{AN : } \eta = \frac{50}{320} = 15\%$$

Cette valeur est conforme aux données annoncées par le fabricant.

- 2.4** Le radar pédagogique nécessite une puissance électrique de 50 W. Le panneau ne peut lui fournir cette puissance en continu toute la journée. Lorsqu'il ne fonctionne pas, le radar consomme peu d'énergie et la puissance fournie par le panneau photovoltaïque permet de recharger la batterie qui fournira la puissance nécessaire au radar le reste du temps, en particulier la nuit et lorsque les conditions météorologiques sont mauvaises avec peu d'éclairement solaire.