



1 Diffraction par un tamis

Un faisceau laser monochromatique, de longueur d'onde $\lambda = 532 \text{ nm}$ et se propageant dans l'air, est dirigé vers un tamis de laboratoire (sorte de grille) à mailles carrées de côté a .

On observe sur un écran une figure de diffraction identique à celle représentée ci-contre. La tache centrale est un carré de côté $L = 2,66 \text{ cm}$.

Le laser est placé à une distance $d = 40 \text{ cm}$ du tamis ; la distance entre le tamis et l'écran vaut $D = 2,0 \text{ m}$.

Un tamis à mailles carrées possède des propriétés diffractantes identiques à celles observées lors de la superposition de deux fentes allongées de même largeur et disposées perpendiculairement l'une par rapport à l'autre.

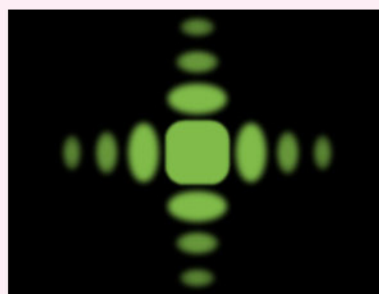


FIG 1 Figure de diffraction

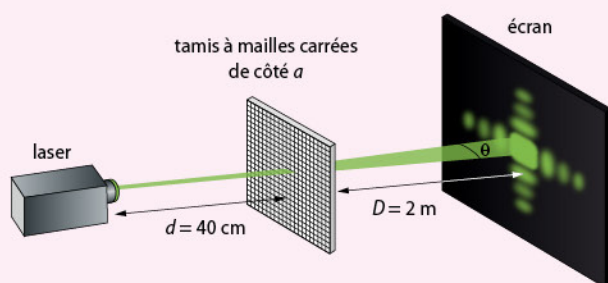


FIG 2 Dessin de l'expérience

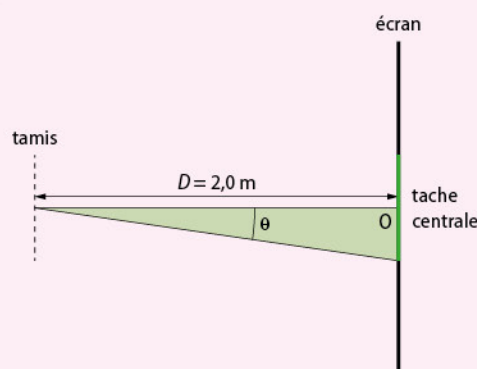


FIG 3 Schéma de l'expérience

1. a. Quel caractère de la lumière l'apparition d'une figure de diffraction met-elle en évidence ?

b. Dans quelle condition ce phénomène est-il observable ?

2. a. Rappeler la relation qui lie la longueur d'onde dans le vide λ , la célérité de la lumière c dans le vide et la période T . Exprimer puis calculer la valeur de la fréquence ν correspondante.

b. Calculer l'énergie associée à un photon laser de fréquence ν .

3. a. Montrer, en s'aidant de la fig. 3, que l'écart angulaire θ noté sur le schéma peut s'écrire $\theta = L / 2D$.

On se placera dans l'approximation des petits angles : $\tan \theta = \theta$ (avec θ en rad).

b. Rappeler la relation qui lie l'écart angulaire θ à la longueur d'onde λ et au côté a de la maille.

c. Exprimer puis calculer la dimension a d'une maille du tamis.

DONNÉES

▶ Constante de Planck : $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$

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

EXEMPLE DE RÉDACTION

1. a. L'apparition d'une figure de diffraction met en évidence le caractère ondulatoire de la lumière.

b. Ce phénomène est observable quand la taille de l'ouverture est petite devant la longueur d'onde.

2. a. $c = \lambda/T = \lambda \cdot \nu$

b. $E = h \cdot \nu = h \cdot c/\lambda = 6,63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8 / (532 \times 10^{-9}) = 4 \times 10^{-19} \text{ J}$

3. a. $\tan \theta = (L/2) / D = L/(2 \cdot D)$

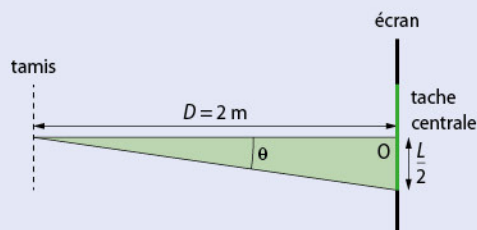
$\tan \theta = \theta$ donc $\theta = L/(2 \cdot D)$

b. $\theta = \lambda/a$

c. $\lambda/a = L/(2 \cdot D)$

Donc $a = 2 \cdot D \cdot \lambda/L$

$a = (2 \times 2,0 \times 532 \times 10^{-9}) / (2,66 \times 10^{-2}) = 8,0 \times 10^{-5} \text{ m} = 80 \text{ } \mu\text{m}$





2 Étude d'un dipôle RC

On charge un condensateur de capacité C inconnue à travers un conducteur ohmique de résistance $R = 330 \text{ k}\Omega$ à l'aide d'un générateur délivrant une tension continue constante égale à $u_0 = 12,0 \text{ V}$ (figure 1).

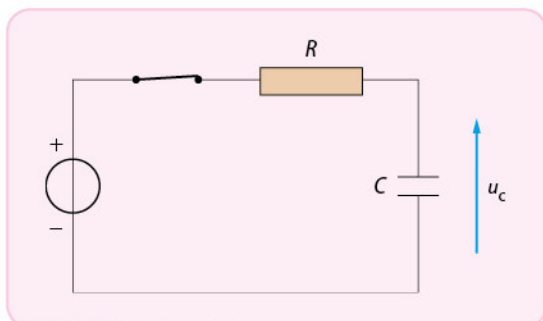


FIG 1 Schéma du montage

On relève les valeurs de la tension u_c aux bornes du condensateur pour différentes dates données. On obtient un tableau de mesures (figure 2).

Ce tableau de mesures correspond à la courbe représentée sur la figure ci-contre (figure 3).

$t \text{ (s)}$	0	5	10	15	20	30	40
$u_c \text{ (V)}$	0,0	1,6	3,0	4,2	5,2	6,9	8,2
$t \text{ (s)}$	50	70	100	150	200	220	250
$u_c \text{ (V)}$	9,1	10,4	11,3	11,8	11,9	12,0	12,0

FIG 2 Tableau de mesures

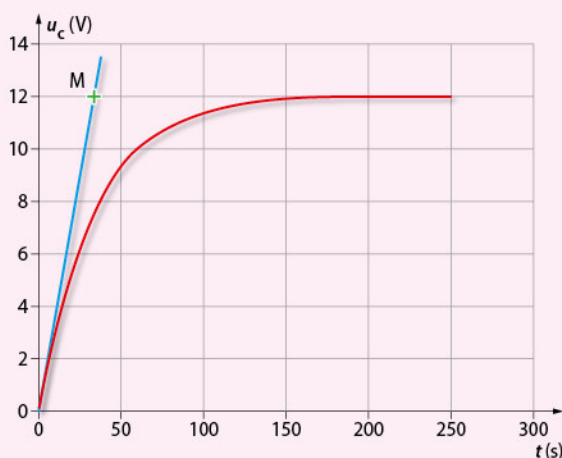


FIG 3 Courbe associée au tableau de mesures

L'objectif de cet exercice est de déterminer la capacité C du condensateur en calculant le temps caractéristique τ du dipôle RC.

1. Quelle est la valeur de la tension u_c lorsque l'intensité du courant s'annule ?

2. a. Donner l'expression du temps caractéristique τ d'un dipôle RC.

b. Montrer que la dimension de cette grandeur τ est bien celle d'un temps.

3. a. Vérifier que l'équation différentielle à laquelle satisfait la tension u_c peut s'écrire :

$$R \cdot C \cdot \left(\frac{du_c}{dt} \right) + u_c = u_0$$

b. Une méthode de détermination de τ fait appel au tracé de la tangente à la courbe $u_c = f(t)$ (figure 3) à l'instant $t = 0$. Montrer que cette tangente coupe la droite $u_c = u_0$ en un point M d'abscisse $t = \tau$.

c. En déduire la valeur numérique de τ .

4. Calculer la capacité du condensateur.

5. La valeur indiquée par le constructeur est $C = 100 \text{ }\mu\text{F}$ à 20 % près.

L'incertitude sur la valeur de la résistance R est supposée négligeable. La valeur obtenue à la question 4 est-elle en accord avec la tolérance de fabrication ? Justifier.

Coups de pouce



Lorsque l'intensité du courant dans le circuit s'annule, la tension aux bornes du conducteur ohmique est nulle.



En appliquant la loi d'additivité des tensions, on peut écrire que : $u_0 = R \cdot i + u_c$.



- À $t = 0$, $u_c = 0$
- La valeur de $\left(\frac{du_c}{dt} \right)$ à $t = 0$ est le coefficient directeur de la tangente à l'origine de la courbe $u_c = f(t)$.



La valeur est en accord avec la tolérance de fabrication si elle est comprise dans l'intervalle possible de valeur donnée par le constructeur.



3 Connexion Wifi pour piloter un drone

Les drones de loisir à quatre hélices sont des véhicules aériens de faibles dimensions. Ils sont vendus au grand public comme un jeu pour l'intérieur ou l'extérieur.

De nombreux drones sont pilotés depuis un téléphone portable à l'aide d'une connexion Wifi (fig. 1).

Un réseau Wifi permet une communication par ondes électromagnétiques entre différents appareils. Les connexions Wifi peuvent se faire suivant plusieurs protocoles de communication dont le protocole standard IEEE 802.11 g dont les principales caractéristiques sont résumées dans le tableau de la figure 2.



FIG 1 Un drone piloté par un téléphone portable

Standard	IEEE 802.11 g
Débit théorique maximal	54 Mbit/s
Fréquence des ondes électromagnétiques	2,4 GHz
Puissance d'émission maximale autorisée en France	100 mW
Distance de fonctionnement	Intérieur 20 m ; extérieur 50 m
Modélisation de l'atténuation du signal à 2,4 GHz en fonction de la distance	$A = 40 + 20 \times \log(d)$ A : atténuation en décibel (dB) d : distance en mètres entre l'émetteur et le récepteur

FIG 2 Principales caractéristiques du protocole standard IEEE 802.11 g

Les phénomènes de réflexion et de diffraction sont utiles pour capter le signal à un endroit où l'émetteur n'est pas visible : on dit qu'on est en condition de Non Line Of Sight (NLOS), c'est-à-dire que l'on n'a pas une ligne de vision directe. Mais les réflexions et diffractions peuvent également être nuisibles lorsqu'elles font apparaître de multiples chemins possibles entre l'émetteur et le récepteur (fig. 3).

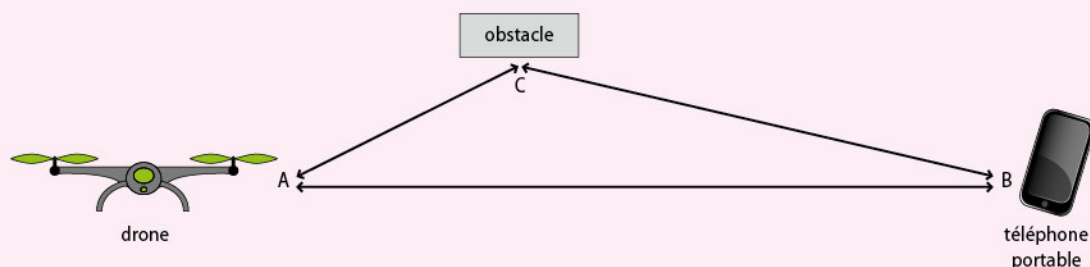


FIG 3 Exemple de chemins multiples

Les signaux transmis en Wifi se dégradent avec la distance et avec les obstacles, ce qui limite la portée et le débit de la liaison.

L'objectif de cet exercice est de mettre en évidence quelques phénomènes physiques qui influencent la qualité de la transmission des informations en Wifi.

DONNÉES

► Vitesse de propagation des ondes électromagnétiques dans le vide et dans l'air :

$$c = 3,0 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

► Atténuation d'un signal

L'atténuation A d'un canal de transmission est définie par : $A = 10 \times \log(P_e/P_r)$

A : atténuation en décibel (dB)

P_e : puissance d'émission en watt (W)

P_r : puissance reçue en watt (W)

► Effet Doppler

Lorsque l'émetteur d'une onde se déplace par rapport au récepteur, le décalage Doppler est donné par la relation $f_R - f_E = \pm (v/c) \cdot f_E$ dans le cas où la vitesse de déplacement est faible par rapport à la vitesse de propagation des ondes. Le signe est fonction du sens de déplacement de l'émetteur par rapport au récepteur.

f_R est la fréquence reçue par le récepteur ; f_E est la fréquence émise par l'émetteur ; c est la vitesse de propagation des ondes ; v est la vitesse de déplacement de l'émetteur.

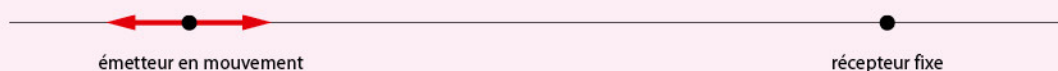


FIG 4 Schématisation de la situation d'étude

1. Transmission d'informations avec le protocole standard IEEE 802.11 g

Un drone est piloté à l'aide d'un téléphone portable. Il est équipé d'une webcam de résolution 1280×720 pixels filmant à 30 images par seconde. Le codage de chaque image est de 24 bits par pixel. Il envoie ses informations au téléphone portable *via* le réseau Wifi. Lorsque le drone s'éloigne du téléphone, le signal électromagnétique reçu par celui-ci s'affaiblit.

1. Calculer l'atténuation du signal lorsque le drone se situe à 10 m du téléphone portable.
2. En déduire la puissance maximale que peut recevoir le téléphone lorsqu'il est situé à 10 m du drone.
3. Le débit théorique maximal de la connexion Wifi permet-il de visualiser la vidéo en direct sur le téléphone portable ?

2. Les problèmes de transmission en Wifi

On aborde les problèmes de transmission entre le drone et le téléphone portable lorsque le drone se déplace à une vitesse de croisière de l'ordre de $3,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

1. Comparer la fréquence de l'onde radio émise par le drone à la fréquence de l'onde reçue par le téléphone portable lorsque le drone s'éloigne. Estimer la variation relative de la fréquence.
2. Calculer la longueur d'onde des signaux émis en Wifi.
3. Un tronc d'arbre placé sur le trajet des ondes Wifi est-il susceptible de diffracter ces ondes ? Justifier.
4. La superposition d'ondes ayant parcouru des chemins différents peut provoquer des interférences. À quelle condition obtient-on des interférences destructives ? Dans ce cas, quelle sera la conséquence sur la valeur de la puissance reçue ?
5. τ_1 et τ_2 représentent respectivement la durée du trajet de l'onde A-C-B et celle du trajet A de l'onde B entre le drone et le téléphone. On définit la durée $\Delta t = \tau_1 - \tau_2$. Parmi les 5 valeurs de Δt suivantes, indiquer celle(s) qui conduit (conduisent) à des interférences destructives. Justifier votre réponse.
 $T/2$, T , $k \cdot T$, $k \cdot T + T/2$, $k \cdot T/2$
 k est un entier naturel et T est la période de l'onde émise.



4 Maquettes d'instruments optiques à deux lentilles convergentes

Lors d'une séance de travaux pratiques, un élève cherche à réaliser, sur banc optique, la maquette d'un instrument d'optique à l'aide de deux lentilles convergentes.

1. Une première maquette

La première maquette est réalisée sur banc optique et est modélisée sur la **figure 1**.

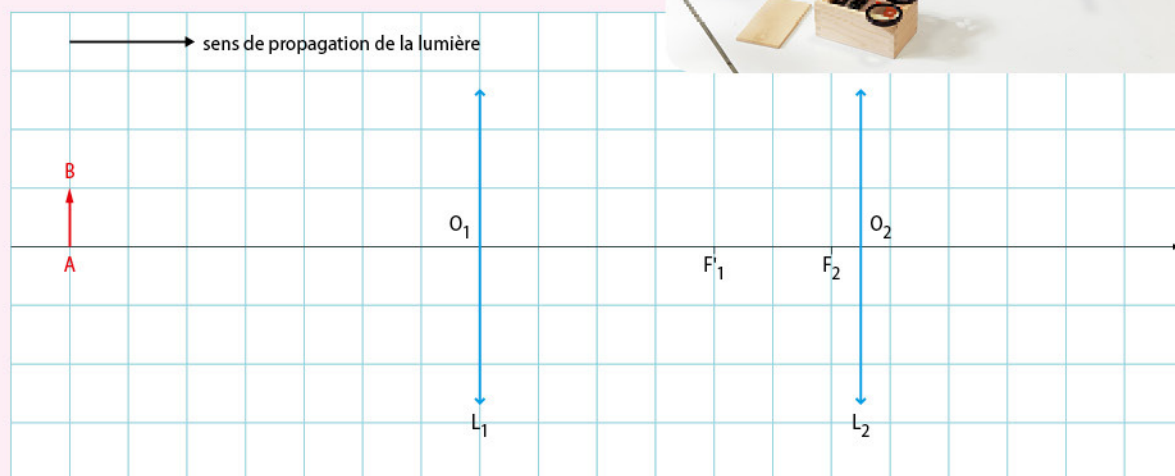
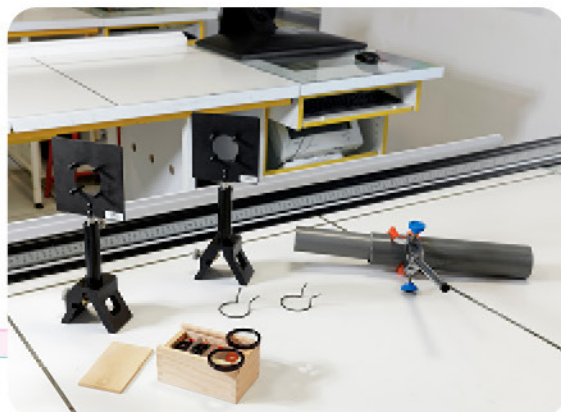


FIG 1 Schématisation de la première maquette

L'élève mesure :

$$\overline{AO_1} = 140 \text{ cm}, \overline{O_1F_1} = 80 \text{ cm}, \overline{O_2F_2} = -10 \text{ cm}, \overline{O_1O_2} = 130 \text{ cm}, \overline{AB} = 20 \text{ cm}.$$

1. Reproduire la **figure 1** et construire l'image A_1B_1 de l'objet AB à travers L_1 , puis $A'_1B'_1$ de l'objet A_1B_1 à travers L_2 .
2. a. Déterminer par un calcul adapté : $\overline{O_1A_1}$ et $\overline{O_2A'_1}$.
b. Comparer ces valeurs à celles qui peuvent être déduites de la construction effectuée sur la **figure 1**.
3. Caractériser l'image de l'objet obtenue à l'aide de cet instrument optique.
4. Le grandissement d'un instrument d'optique se détermine en faisant le rapport de la taille de l'image sur celle de l'objet. Peut-on parler de grandissement dans le cas de la maquette réalisée ? Si oui, en déterminer la valeur.

DONNÉE

► Relation de conjugaison d'une lentille convergente de distance focale f' placée en O pour un objet placé en A et une image formée en A' :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$$

2. La maquette d'une lunette astronomique

L'élève cherche à réaliser la maquette d'une lunette astronomique.

1. Quel est le principe d'une lunette astronomique ?

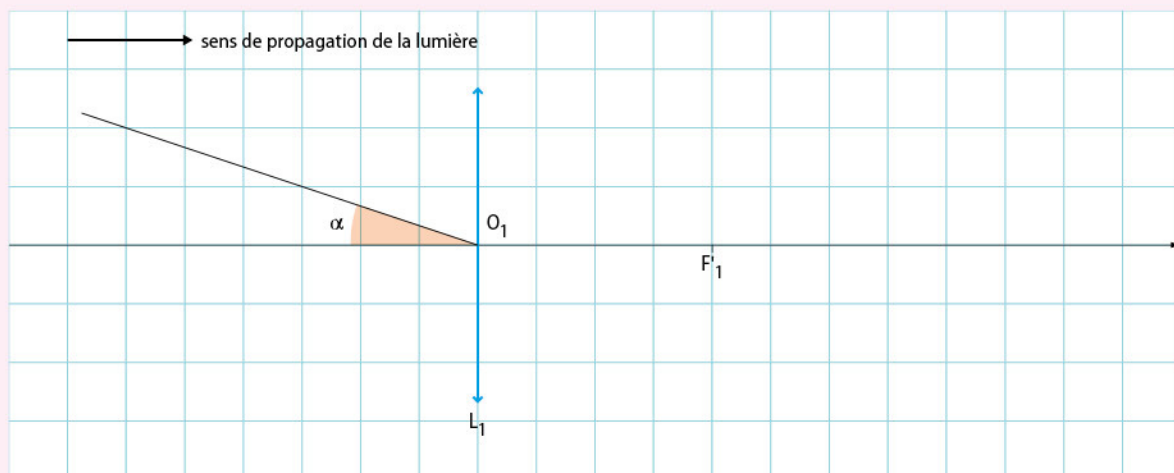


FIG 2 Amorce de la schématisation de la deuxième maquette

2. Reproduire la **figure 2** et y placer la lentille 2 pour réaliser la maquette d'une lunette astronomique :

b. Qu'appelle-t-on :

- objectif ?
- oculaire ?
- cercle oculaire ?

3. On suppose que la maquette ainsi réalisée est la reproduction sur banc optique d'une véritable lunette astronomique. On utilise cette maquette pour observer un point lumineux, comme un astre lointain, qui émet en direction de la lunette.

On appelle α l'angle formé par le rayon provenant de l'infini et l'axe optique de l'instrument optique.

On appelle α' l'angle formé par le rayon émergent (issu du rayon précédent) et l'axe optique de l'instrument optique.

Dans une lunette astronomique, α et α' sont petits. On peut donc faire les approximations : $\tan \alpha \approx \alpha$ et $\tan \alpha' \approx \alpha'$

a. Construire sur la **figure 2** la marche du rayon lumineux provenant de l'infini.

b. Où se trouve l'image de l'astre observée à travers la lunette ? La situer par rapport à L_2 et donner ses caractéristiques.

c. Déterminer le grossissement de la lunette.

d. Pourquoi ne parle-t-on pas de grandissement dans le cas d'une lunette astronomique ?

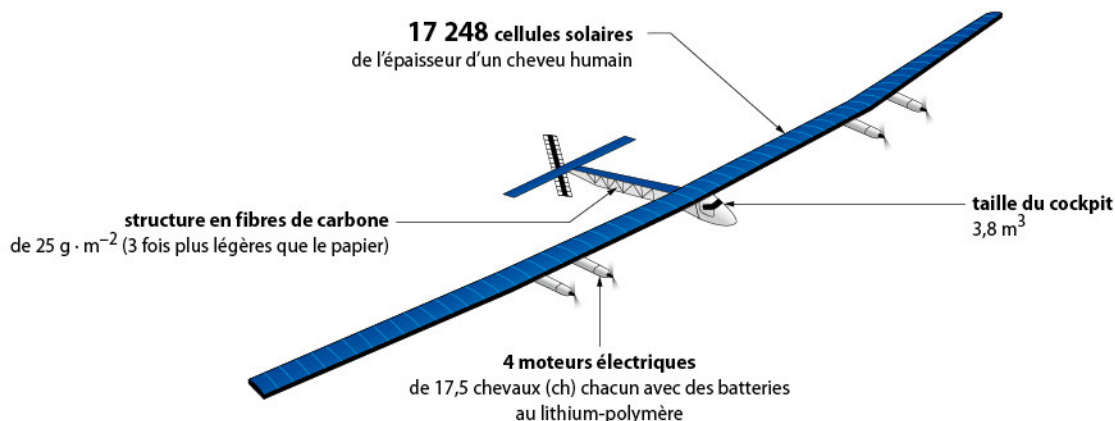
4. L'observateur n'a pas de défaut de vision. Où doit-il placer son œil pour observer l'image de l'astre ? Doit-il accommoder ?





5 L'avion solaire « Solar Impulse » : un challenge énergétique à relever

L'avion solaire *Solar Impulse* est le résultat d'un projet ayant comme objectif de faire voler, lors d'un tour du monde, un avion à moteurs électriques uniquement alimentés par l'énergie solaire.

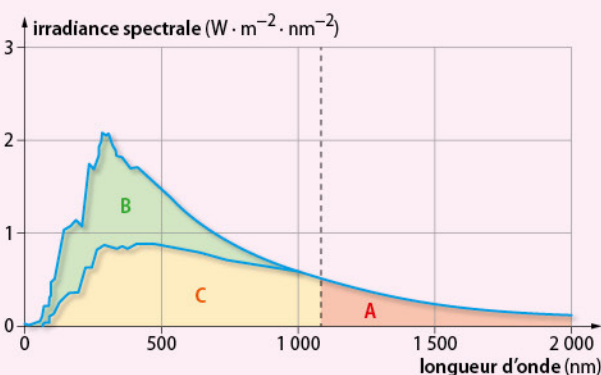


DOC 1 Caractéristiques de trois types de cellules photovoltaïques existantes

Type de matériaux de la cellule	Durabilité	Rendement typique (en %)	Rendement maximum (en %)	Coût de fabrication
Silicium mono-cristallin	Supérieure à 20 ans	De 15 à 20	25	+++
Silicium poly-cristallin	Supérieure à 20 ans	De 12 à 16	20	++
Silicium amorphe	20 ans	De 5 à 8	13	+

DOC 2 Les photons utiles de l'effet photoélectrique pour le silicium

Les photons ayant une énergie inférieure à une valeur appelée gap du silicium E_g ne peuvent pas être utilisés par le silicium pour produire de l'énergie électrique et leur énergie est donc convertie en énergie thermique. L'énergie perdue par ces photons non absorbés représente 23,5 % de l'énergie solaire. Les photons ayant une énergie supérieure à E_g peuvent eux déloger un électron utile, mais l'énergie excédentaire sera perdue elle aussi. Cet excès d'énergie représente quant à lui 33 % de l'énergie solaire. C'est ce que montre le schéma ci-contre. À ces pertes, s'ajoutent celles du facteur de forme, de la réflexion et de la surface des collecteurs.



DONNÉES

$c = 3,0 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; $h = 6,62 \times 10^{-34} \text{ m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$;
 $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$; $1 \text{ nm} = 1 \times 10^{-9} \text{ m}$;
 $1 \text{ ch} = 735,5 \text{ W}$.

▶ Effet photoélectrique. Les théories actuelles associent à chaque onde électromagnétique du rayonnement solaire une particule appelée photon

dont l'énergie est donnée par la relation de Planck :

$$E = h \cdot \nu = h \cdot c / \lambda$$

avec E : énergie du photon (en J) ;

ν : fréquence de l'onde électromagnétique (en Hz) ;

c : célérité de la lumière dans le vide (en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) ;

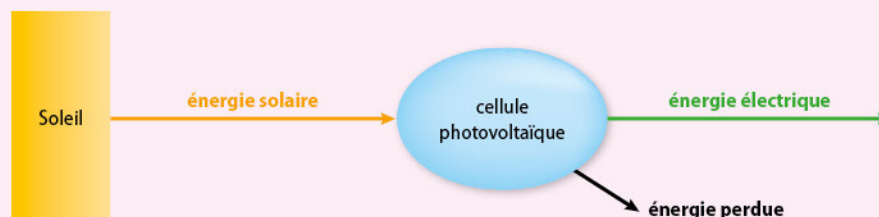
λ : longueur d'onde de l'onde électromagnétique (en m)

1. Étude du vol de jour

Le jour, l'avion est soumis à une puissance solaire surfacique moyenne de $1\,000\text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

1. Calculer, en kW, la puissance solaire reçue par les $269,5\text{ m}^2$ de cellules solaires de l'avion.
2. Le diagramme des puissances d'une cellule solaire est présenté par le [document 3](#).

DOC 3 Diagramme des puissances d'une cellule solaire



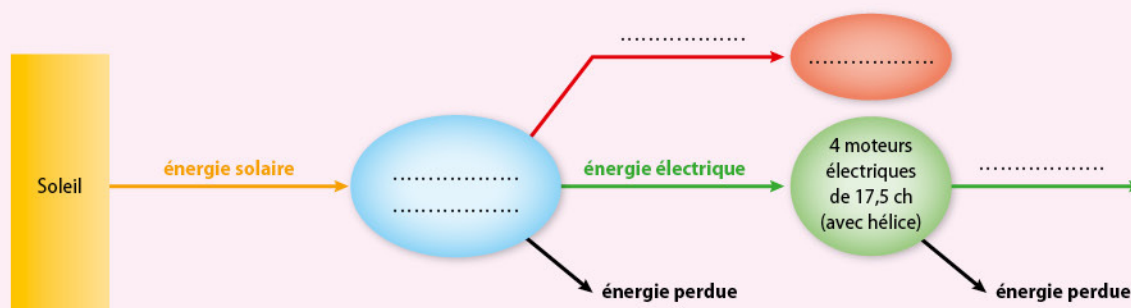
En tenant compte du rendement de 23 % qui est celui des cellules solaires, montrer que la puissance électrique que peuvent fournir les cellules solaires de l'avion est de 62,0 kW.

3. En justifiant la réponse, indiquer si cette puissance est suffisante pour alimenter les quatre moteurs fonctionnant à pleine puissance et ayant un rendement de 94 %.
4. L'énergie collectée par les cellules solaires est en partie stockée dans des batteries au lithium-polymère, de masse totale de 633 kg et d'une densité énergétique de $260\text{ W} \cdot \text{h} \cdot \text{kg}^{-1}$.

En admettant que 25 % de la puissance électrique produite par les cellules solaires est en moyenne utilisée pour la recharge des batteries, calculer la durée d'exposition solaire nécessaire pour recharger intégralement les batteries de l'avion.

5. Recopier et compléter le diagramme des énergies de l'avion solaire volant de jour du [document 4](#).

DOC 4 Diagramme des énergies de l'avion solaire



2. Cellule photovoltaïque et effet photoélectrique

1. Expliquer pourquoi les concepteurs de l'avion *Solar Impulse* ont retenu les cellules en silicium monocristallin.
2. Le rendement de 23 % des cellules photovoltaïques de *Solar Impulse* est l'un des meilleurs rencontrés pour ce type de convertisseur d'énergie à l'heure actuelle. Ce rendement peut-il être qualifié de bon rendement d'énergie ? Justifier la réponse.
3. Seuls les photons dont l'énergie est supérieure à $E_g = 1,12\text{ eV}$ (appelée gap du silicium) peuvent libérer un électron qui participera au courant électrique délivré par la cellule photovoltaïque en silicium. Déterminer en nm la longueur d'onde de l'onde électromagnétique dont le photon a une énergie égale au gap du silicium.
4. Indiquer à quelle(s) zone(s) (A, B ou C) du [document 2](#) correspondent les photons potentiellement utiles à la production d'énergie électrique par le silicium.



6 Mesure de la capacité d'un condensateur

On se propose de mesurer, par deux méthodes, la capacité C d'un condensateur.

1. Première méthode

Le condensateur est relié à un générateur de courant délivrant un courant d'intensité I constante et réglable. Un voltmètre de résistance infinie permet de mesurer la tension u_{AB} aux bornes du condensateur (figure 1).

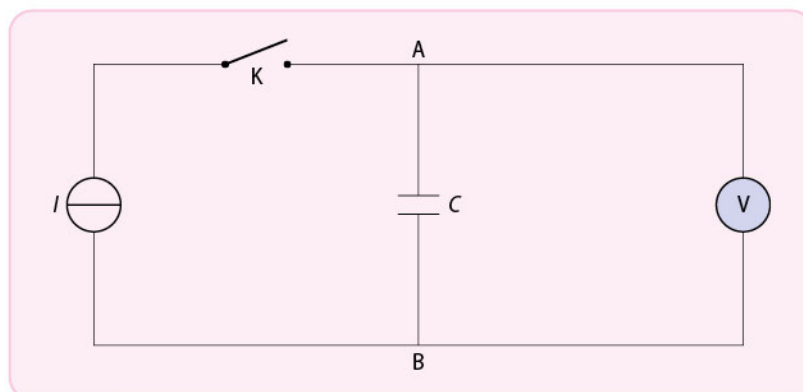


FIG 1 Schématisation du circuit

Le condensateur étant initialement déchargé, on ferme l'interrupteur K à l'instant $t_0 = 0$ et l'on observe qu'à l'instant t_1 la tension u_{AB} atteint une certaine valeur u_1 .

1. Montrer que la tension aux bornes du condensateur à l'instant t a pour expression : $u_{AB} = I \cdot t / C$.
2. Pour $I = 10 \mu\text{A}$, u_{AB} atteint la valeur $u_1 = 6,0 \text{ V}$ à l'instant $t_1 = 7,2 \text{ s}$. Calculer la valeur de la capacité C du condensateur.

2. Deuxième méthode

On réalise à présent le montage ci-dessous (figure 2) :

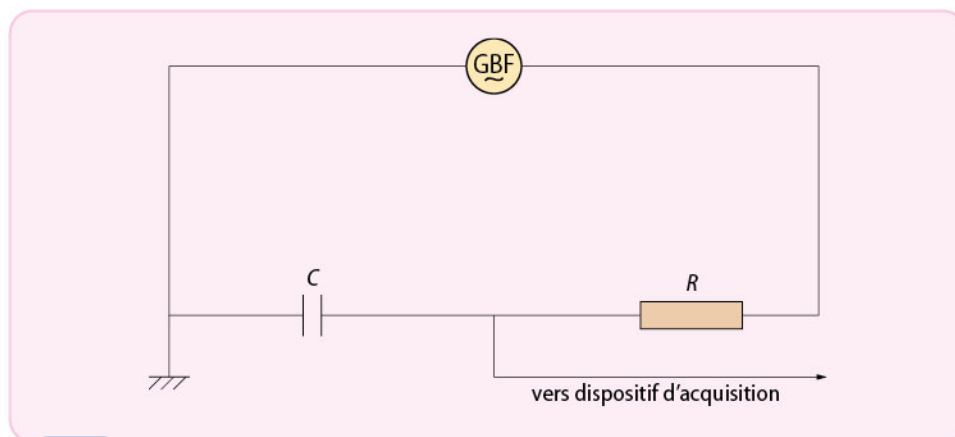
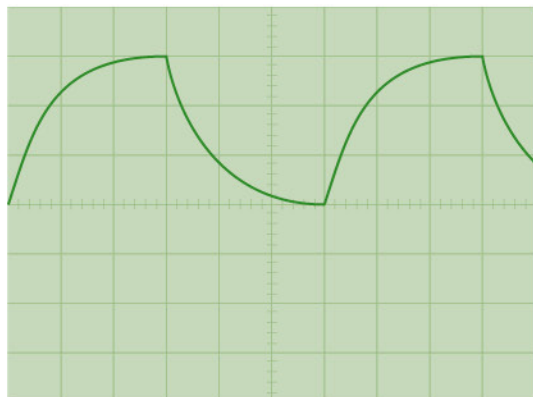


FIG 2 Montage avec dispositif d'acquisition

Le GBF délivre une tension en créneau, variant de 0 à $u_m = 6 \text{ V}$.

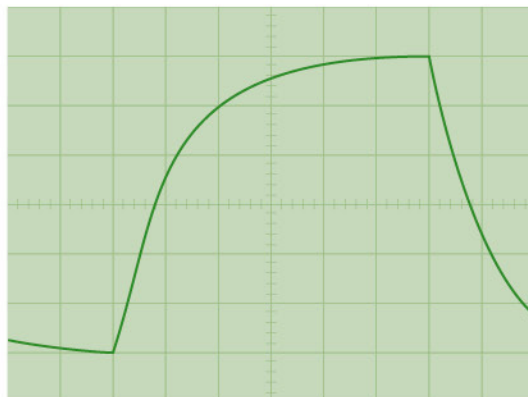
Selon des réglages du logiciel d'acquisition, on obtient les écrans 1 et 2 ci-dessous :



Écran 1

Réglages :

balayage horizontal : $20 \text{ ms} \cdot \text{div}^{-1}$;
sensibilité verticale : $2 \text{ V} \cdot \text{div}^{-1}$.



Écran 2

Réglages :

balayage horizontal : $10 \text{ ms} \cdot \text{div}^{-1}$;
sensibilité verticale : $1 \text{ V} \cdot \text{div}^{-1}$.

On appelle temps caractéristique τ la durée au bout de laquelle le condensateur, initialement déchargé, atteint 63 % de sa charge maximale.

Donnée : $R = 1\,000 \, \Omega$.

1. a. Que visualise-t-on sur les écrans 1 et 2 ? Comment expliquer l'allure du signal observé ?
- b. Reproduire l'écran 1 et ajouter l'allure du signal délivré par le GBF.
- c. Quel est la fréquence du signal délivré par le GBF ?
2. Donner l'expression du temps caractéristique τ du dipôle RC.
3. Vérifier que l'équation différentielle à laquelle satisfait la tension u_c peut s'écrire :

$$RC(du_c/dt) + u_c = u_m$$

4. La solution de l'équation différentielle établie à la question précédente est de la forme :

$$u_c = u_m \cdot (1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

Quelle valeur prend la tension u_c à la date $t = \tau$?

5. Une méthode de détermination de τ fait appel au tracé de la tangente à la courbe $u_c = f(t)$ à l'instant $t = 0$. Montrer que cette tangente coupe la droite $u_c = u_m$ en un point d'abscisse $t = \tau$.
6. En plus de la durée du balayage horizontal et de la sensibilité verticale, quels réglages a-t-on modifiés sur l'oscilloscope pour passer de l'écran 1 à l'écran 2 ? Pour quelle raison ?
7. Mesurer τ en utilisant l'écran le mieux approprié. Indiquer la méthode employée en reproduisant l'écran sur lequel s'appuie la mesure.
8. a. Dédire de cette mesure la valeur de la capacité C du condensateur.
- b. La valeur indiquée par le constructeur est $C = 12 \, \mu\text{F}$ à 5 % près. La valeur obtenue à la question précédente est-elle en accord avec la tolérance de fabrication ? Justifier.