

Devoir de vacances de entrée en PCSI 2024-2025 1iere partie : QCM

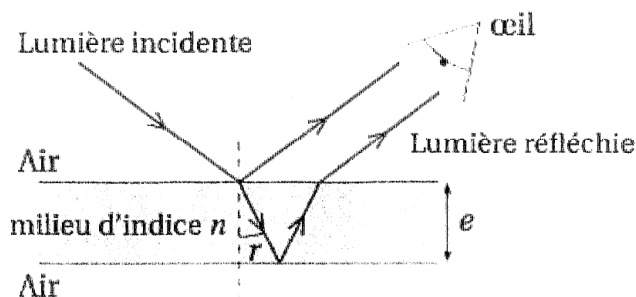
Chaque exercice comporte 4 affirmations repérées par les lettres a, b, c, d. Vous devez indiquer, dans le tableau de la fiche réponse, pour chacune d'elles, si elle est vraie (V) ou fausse (F). Toute réponse exacte rapporte un point. Toute réponse inexacte entraîne le retrait d'un point. Pas de réponse = 0 pt. Calculatrice interdite.

1- Interférences.

En observant une bulle de savon, on voit apparaître des irisations dont les couleurs changent suivant l'angle d'observation : c'est un phénomène d'iridescence. Une bulle de savon est constituée d'un mince film d'eau savonneuse emprisonnant de l'air. Quand la lumière traverse ce film, il se produit un phénomène d'interférences entre la lumière réfléchiée sur la face supérieure du film et celle réfléchiée sur la face inférieure.

Pour une longueur d'onde λ et un angle de réfraction r donnés, la différence de marche entre ces deux ondes, notée δ , dépend de l'épaisseur e et de l'indice moyen de réfraction n du film d'eau savonneuse :

$$\delta = 2ne \cos(r) + \frac{\lambda}{2}.$$



Données : Indice moyen de réfraction de l'eau savonneuse : $n = 1,35$;
 $1,35 \times \cos(42^\circ) \approx 1,0$;
Longueur d'onde d'une radiation de couleur rouge : $\lambda_{\text{rouge}} = 640 \text{ nm}$.

a) L'onde réfléchiée sur la face inférieure et celle réfléchiée sur la face supérieure sont synchrones et toujours en phase.

Pour un ordre d'interférence $k = 1$,

b) L'épaisseur minimale du film pour obtenir des interférences destructives est donnée par la relation

$$e = \frac{\lambda}{4n \cos r}.$$

c) Avec un angle de réfraction $r = 42^\circ$, l'épaisseur minimale du film pour que la bulle paraisse rouge est de $e = 160 \text{ nm}$.

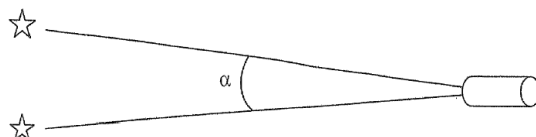
d) Avec un film d'épaisseur $e = 160 \text{ nm}$ et un rayon incident vert, l'intensité réfléchiée est maximum pour un angle de réfraction inférieur à 42° .

2- Résolution d'un télescope.

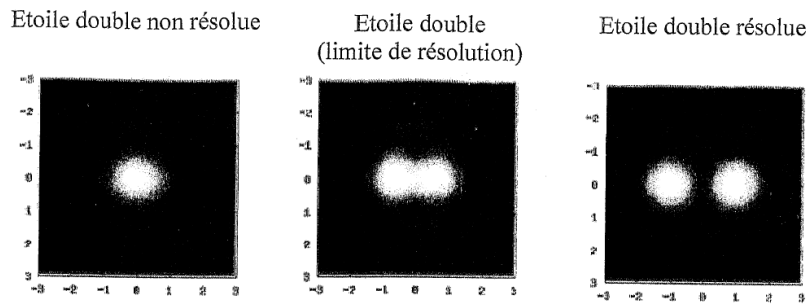
Au lieu de voir des étoiles ponctuelles à travers un télescope, on voit des taches. La diffraction brouille les images astronomiques. Pour un diamètre donné d'un télescope, tous les détails ne seront pas visibles. Si les plus gros détails pourront être vus, les plus fins seront flous et donc non visibles à l'œil à travers le télescope. Un exemple de détail que les astronomes cherchent à distinguer est l'existence d'étoiles doubles. Une étoile double est en fait un couple de deux étoiles. Elles peuvent être liées gravitationnellement. Elles tournent alors l'une autour de l'autre et sont donc proches physiquement.

Inspiré du site de l'observatoire de Paris - <http://www.obspm.fr/>

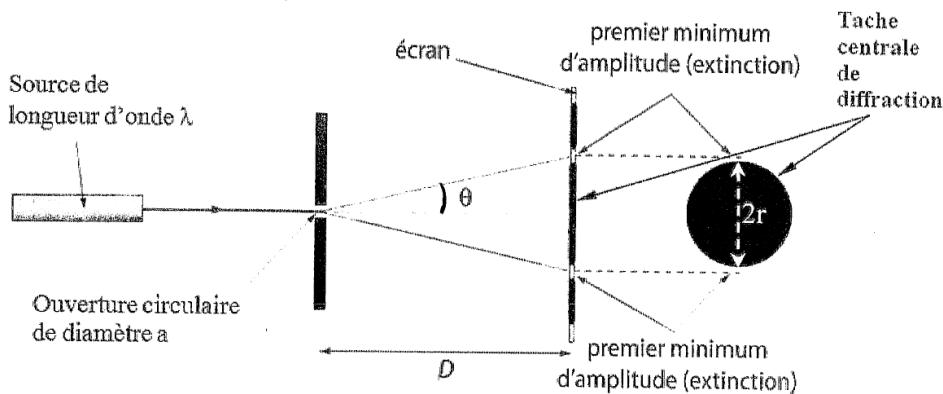
On appelle résolution l'angle limite α entre les lignes de visées de deux étoiles ponctuelles pour lequel on peut distinguer les deux étoiles (voir schéma).



On considère qu'il n'y a plus qu'une tache lorsque le centre de la tache image de la seconde étoile est sur la première extinction de la figure correspondante à la première étoile (voir illustration ci-dessous).



Le schéma ci-dessous rappelle le principe de la diffraction de la lumière par un trou circulaire de diamètre a . L'écart angulaire θ , exprimé en radian, sous lequel on voit le rayon r de la tache de diffraction est $\theta \approx 1,22 \frac{\lambda}{a}$, avec λ la longueur d'onde (en mètres) de la lumière émise par la source lumineuse et D la distance entre le trou et l'écran d'observation (également exprimée en mètres).



Donnée : Dans le vide, le spectre électromagnétique visible s'étend du violet (longueur d'onde d'environ 400 nm) au rouge (longueur d'onde d'environ 750 nm).

- En lumière blanche, on observe une tache irisée dont le pourtour est rouge.
- Les deux étoiles sont indiscernables lorsque l'écart angulaire entre les centres de leurs taches est inférieur à $1,22 \frac{\lambda}{a}$.
- Plus le diamètre du télescope est petit, plus sa résolution est bonne.
- En remplaçant un filtre sélectif bleu à 400 nm par un filtre sélectif rouge à 600 nm devant l'objectif du télescope, le rayon r d'une tache centrale est théoriquement multiplié par $\frac{3}{2}$.

Interférences atomiques

3-

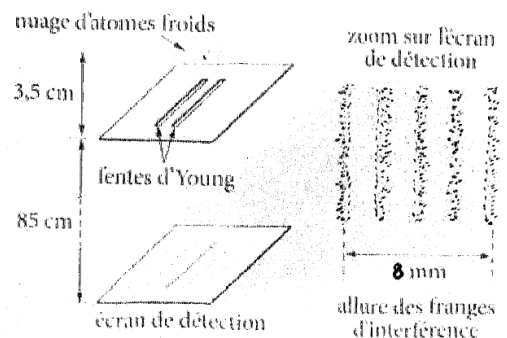
Une expérience d'interférences atomiques, réalisée par une équipe japonaise en 1992, a consisté à ralentir une assemblée d'atomes de néon, puis à laisser tomber en chute libre ce nuage d'atomes au-dessus d'une plaque percée de deux fentes microscopiques.

Chaque onde atomique se dédouble à son passage par les deux fentes, et la superposition de ces deux ondes produit des franges d'interférence. Sur un écran de détection placé sous les fentes, chaque point noir correspond à l'impact d'un atome.

Pour une longueur d'onde de De Broglie de 15 nm, avec une distance fentes-écran égale à $D = 85$ cm et des fentes écartées de $a = 6,0$ μm , l'interfrange est aisément observable.

La densité des impacts en un point de l'écran est proportionnelle à la probabilité qu'un atome de se retrouver en ce point.

D'après http://www.lkb.ens.fr/recherche/atfroids/tutorial/pages/10_interf_atmiques.htm



3

Données : Constante de Planck $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$;
Masse de l'atome de néon $m = 3,4 \times 10^{-26} \text{ kg}$;
 $\frac{8}{5} = 1,6$; $\frac{6,63}{15} \approx 0,44$; $6,63 \times 15 \approx 99$; $\frac{4,4}{3,4} \approx 1,3$; $4,4 \times 3,4 \approx 15$.

- L'interfrange i mesurée est égale à 1,6 mm.
- La quantité de mouvement associée aux atomes de néon est de $4,4 \times 10^{-26} \text{ kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.
- Leur vitesse est de 1,3 m.s⁻¹.
- Cette expérience traduit la dualité onde corpuscule de la lumière.

4-

Feux d'artifice

La pyrotechnie, du grec « pyros » feu et « tekhnê » savoir-faire, est la technique des feux d'artifice inventée par les chinois, il y a plus de mille ans. Une fusée pyrotechnique de masse $M = 400 \text{ g}$ est tirée verticalement depuis un mortier fixé au sol, avec une vitesse initiale $V_0 = 50,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Le mouvement de son centre d'inertie G s'effectue dans un repère vertical (O, \vec{j}) orienté vers le haut. On choisit l'instant $t_0 = 0 \text{ s}$ lorsque le centre d'inertie G est confondu avec l'origine du repère O .

Les courbes du **document n°1**, représentent l'évolution temporelle de l'énergie cinétique E_c , de l'énergie potentielle de pesanteur E_p et de l'énergie mécanique totale E_m de la fusée lors de son mouvement ascendant dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

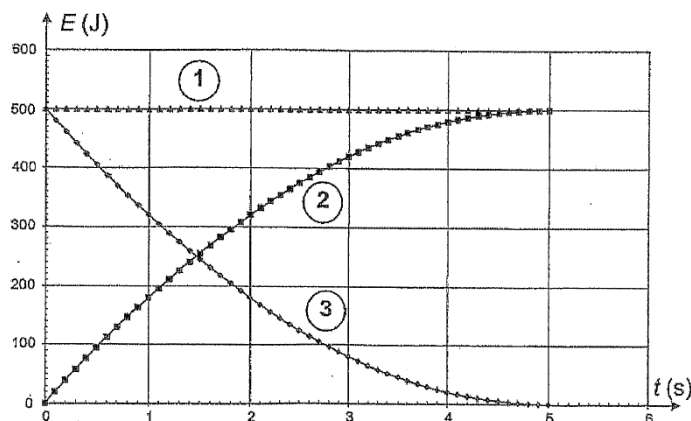
On prend l'origine de l'énergie potentielle de pesanteur au point O .

A l'apogée (au sommet), une charge d'éclatement provoque l'explosion de la fusée et disperse les garnitures pyrotechniques appelées « étoiles ». Le mouvement d'une « étoile » produite lors de l'explosion de la fusée à l'apogée de sa trajectoire s'effectue dans le repère (O, \vec{i}, \vec{j}) . On prend comme nouvelle origine des temps l'instant où l'« étoile » est projetée à partir du point A à une altitude y_A , avec un vecteur vitesse initiale \vec{v}_A appartenant au plan xOy et incliné d'un angle α par rapport à l'horizontale.

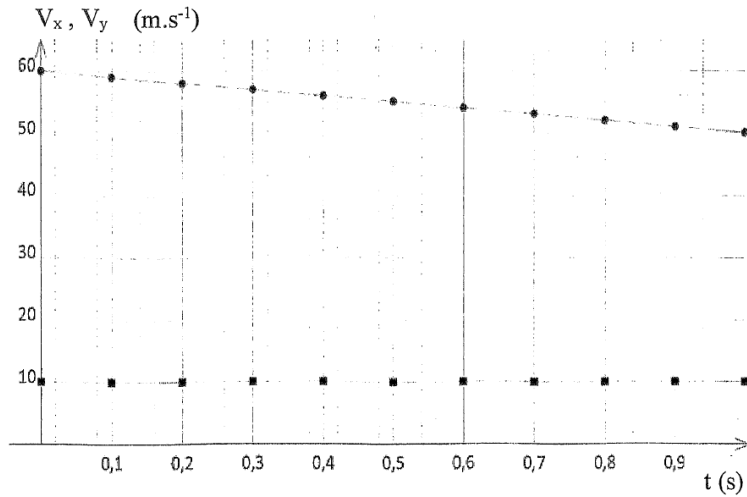
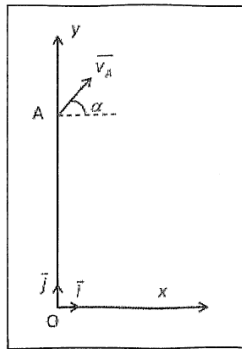
Les courbes du **document n°2**, représentent l'évolution temporelle des composantes V_x et V_y du vecteur vitesse \vec{v} d'une « étoile ». On néglige les actions mécaniques liées à l'air (poussée d'Archimède et force de frottements).

Données : Intensité du champ de pesanteur : $g \approx 10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$; $60,8^2 \approx 3700$.

Document n°1 :



Document n°2 :

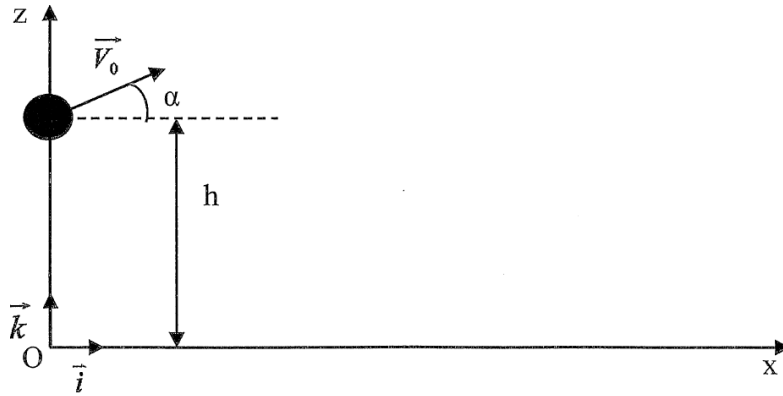


- L'évolution de l'énergie potentielle de pesanteur de la fusée est représentée sur la courbe n°2 du document 1.
- La fusée explose 1,5 s environ après son décollage.
- La fusée atteint son apogée à 100 m du sol.
- La vitesse V_A d'une étoile lors de l'explosion a une valeur supérieure à 180 km.h^{-1} .

5-

Le lancer du poids.

Un poids d'une masse $m = 6,0 \text{ kg}$ est lancé d'une hauteur $h = 2,0 \text{ m}$ au dessus du sol avec une vitesse initiale de valeur $V_0 = 7,0 \text{ m.s}^{-1}$ et faisant un angle α avec l'horizontale. Le mouvement se fait dans un plan vertical affecté du repère orthonormé (O, \vec{i}, \vec{k}) . On néglige les frottements de l'air.



Données : Intensité du champ de pesanteur : $g \approx 10 \text{ m.s}^{-2}$;

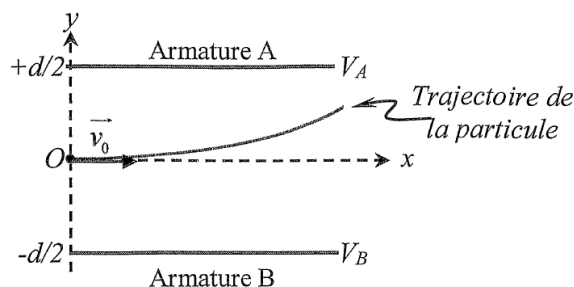
$$\cos(45^\circ) = \frac{\sqrt{2}}{2}; \quad \cos^2(\alpha) + \sin^2(\alpha) = 1; \quad 7\sqrt{10} \approx 22; \quad 7\sqrt{2} \approx 9,9.$$

- L'équation de la trajectoire est : $z = -\frac{g}{2V_0^2 \cdot \cos^2(\alpha)} \cdot x^2 + x \cdot \tan(\alpha) + h$.
- Pour $\alpha = 45^\circ$, l'équation de la trajectoire s'écrit : $z = -\frac{g}{V_0^2} x^2 + x + h$.
- Pour $\alpha = 45^\circ$, l'équation horaire sur la vitesse suivant Oz s'écrit $V_z = -10t + 9,9$ (t étant exprimé en s et V_z en m.s^{-1}).
- Pour $\alpha = 0^\circ$, le poids retombe au point d'abscisse $x = 4,4 \text{ m}$.

Mouvement d'une charge électrique

Un condensateur plan est constitué de deux armatures planes horizontales distantes de d , soumises à une différence de potentiel $U_{AB} = V_A - V_B = 10 \text{ kV}$, où V_A (respectivement V_B) est le potentiel de l'armature A (respectivement B). Le champ électrostatique \vec{E} entre les armatures est uniforme, de valeur $5,0 \times 10^4 \text{ V.m}^{-1}$.

Au point O de coordonnées $(0; 0)$, une particule de charge q pénètre, avec une vitesse \vec{v}_0 selon l'axe (Ox) , dans la zone où règne le champ électrostatique et décrit la trajectoire représentée sur le schéma ci-contre.



Donnée : Valeur absolue de la charge électrique de la particule : $|q| = e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$.

- La distance d séparant les deux armatures est de 20 cm .
- L'intensité de la force électrostatique est de $8,0 \times 10^{-14} \text{ N}$.
- La charge de la particule est positive.

d) Sachant que les équations horaires du mouvement de la particule sont $\begin{cases} x(t) = v_0 t \\ y(t) = \frac{eE}{2m} t^2 \end{cases}$, l'équation de la

trajectoire de la particule est $y(x) = \frac{eE}{mv_0^2} x^2$.

Satellite SPOT.

Initié par la France à la fin des années 1970, le programme SPOT (Satellite Pour l'Observation de la Terre) s'est concrétisé depuis février 1986 par la mise sur orbite de cinq satellites équipés de capteurs à haute résolution. Le dernier de la série, SPOT 5, a été mis sur orbite le 4 mai 2002 depuis la base de lancement de Kourou par un lanceur Ariane 4.

SPOT 5 a une hauteur de $5,7 \text{ m}$ pour une base de $3,1 \text{ m}$ de côté ; sa masse au lancement était de 3000 kg dont 150 kg d'hydrazine. La durée de vie prévue est de 5 ans .

Tous les satellites SPOT évoluent à une altitude de 820 km , sur des orbites quasi polaires, caractérisées par une inclinaison de $98,7^\circ$ (ce qui permet l'héliosynchronisme). La période de révolution des satellites SPOT est de $101,4 \text{ min}$ et le cycle orbital a une durée de 26 jours .

Source : <http://eduscol.education.fr>

Données : Masse de la Terre : $M_T = 5,98 \times 10^{24} \text{ kg}$;
 Rayon terrestre : $R_T \approx 6380 \text{ km}$;
 Constante de gravitation universelle : $G \approx 6,67 \times 10^{-11} \text{ S.I.}$;
 Champ de gravitation à la surface de la terre : $g_0 = \frac{G \cdot M_T}{R_T^2}$;
 $7,1 \times 1,014 \approx 7,2$; $\frac{22,3}{\pi} \approx 7,1$; $446 \approx 74 \times 6$.

a) Le satellite, lorsqu'il est en orbite circulaire, a un vecteur accélération constant.

b) Le champ de gravitation à l'altitude du satellite a pour valeur $g(h) = \sqrt{\frac{R_T}{R_T + h}} \cdot g_0$, avec g_0 valeur du champ de pesanteur à la surface de la terre, R_T le rayon terrestre et h l'altitude du satellite.

c) Le rayon de l'orbite a pour expression $r = \frac{v^2}{g(h)}$.

d) La vitesse du satellite dans le référentiel géocentrique est $v = 7,4 \text{ km.s}^{-1}$.

8-LE GROSSISSEMENT EN OPTIQUE : ETUDE D'UNE LUNETTE ASTRONOMIQUE

On considère une lunette astronomique formée :

- d'un objectif constitué d'une lentille mince convergente de distance focale $f_1 = \overline{O_1F_1} > 0$.
- d'un oculaire constitué d'une lentille mince convergente de distance focale $f_2 = \overline{O_2F_2} > 0$.

Ces deux lentilles ont même axe optique Δ . La lune est naturellement vue à l'œil nu sous un diamètre apparent noté α . La lunette astronomique est construite de sorte que l'observation de la lune à travers la lunette ne fatigue pas l'œil de l'observateur. Pour cela, l'image de la lune se fera à l'infini. Dans ce cas, on dit que le système optique est afocal.

1-Pour voir la planète nette à travers la lunette, on forme un système afocal.

Que cela implique-t-il pour les positions des lentilles ?

a- $\overline{O_1O_2} = f_1 + f_2$ b- $\overline{O_1O_2} = f_1$ c- $\overline{O_1O_2} = f_2$ d- $\overline{O_1O_2} = f_1 - f_2$

2-Réaliser le schéma de la lunette en prenant $f_1 = 4f_2$. Sur le schéma, dessiner le chemin suivi par un faisceau incident de lumière parallèle faisant un angle arbitraire α avec l'horizontale. Faire apparaître alors l'image intermédiaire $A'B'$ de la lune au travers de la première lentille rencontrée ainsi que le diamètre apparent de l'image définitive, noté α' .

L'image est-elle a- droite ou b- renversée ?

3-La lunette est caractérisée par son grossissement $G = \alpha'/\alpha$. Exprimer G en fonction de f_1 et f_2 .

a- $G = f_1 \cdot f_2$ b- $G = f_2/f_1$ c- $G = f_1/f_2$

4-On veut augmenter le grossissement de cette lunette et redresser l'image. Pour cela, on interpose entre L_1 et L_2 , une lentille convergente L_3 de distance focale $f_3 = \overline{O_3F_3} > 0$ qu'on place de telle sorte que l'image finale à travers l'ensemble soit à l'infini.

Quel couple de points doit conjuguer pour qu'il en soit ainsi ?

a- F_1 et F_2' b- F_1 et F_2 c- F_3 et F_2' d- F_3' et F_2

5-On appelle γ_3 , le grandissement de la lentille L_3 . En déduire $\overline{O_3F_1'}$ en fonction de f_3 et γ_3 .

a- $\overline{O_3F_1'} = f_3 \left(\frac{1}{\gamma_3} + 1 \right)$ b- $\overline{O_3F_1'} = f_3 \left(-\frac{1}{\gamma_3} + 1 \right)$ c- $\overline{O_3F_1'} = f_3 \left(\frac{1}{\gamma_3} - 1 \right)$

6-Faire un schéma. (On placera O_3 entre F_1' et F_2 mais pas au milieu et on appellera $\overline{A'B'}$ la première image intermédiaire et $\overline{A''B''}$ la seconde image intermédiaire).

2eme partie : problèmes :

I-Observation d'un volcan par interférométrie radar

Lancé en 2006 par le Japon, le satellite ALOS (Advanced Land Observing Satellite) a permis d'observer la Terre, notamment dans le domaine radar. Cet exercice s'intéresse au mouvement orbital de ce satellite et à l'utilisation des données radar appliquées à l'étude de la déformation du sol au niveau d'un volcan situé sur l'île de la Réunion, le Piton de la Fournaise.



Image de synthèse
(earth.esa.int/eogateway/missions/alos)

Données :

- masse de la Terre : $M_T = 5,97 \times 10^{24}$ kg ;
- rayon de la Terre : $R_T = 6,37 \times 10^6$ m ;
- constante de gravitation universelle : $G = 6,67 \times 10^{-11}$ m³·kg⁻¹·s⁻² ;
- la valeur de la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques dans le vide, notée c , est supposée connue.

1. Étude du mouvement orbital du satellite ALOS

ALOS est placé sur une orbite polaire (c'est-à-dire passant à la verticale des pôles terrestres) supposée circulaire dans le référentiel géocentrique à une altitude $h = 692$ km. Le satellite se déplace à une vitesse proche de $2,7 \times 10^4$ km·h⁻¹.

En utilisant les données d'altitude et de période du satellite, un programme écrit en langage python (voir figure 1) a permis de déterminer les positions du satellite sur son orbite à intervalle de temps régulier $\Delta t = 369,3$ s et de représenter les vecteurs vitesse et variation de vitesse du satellite en ces points (figure 2).

```
. #initialisation
. delta_t = 369.3 #pas de temps en s
. 50 vx = np.zeros(N-2)
. vy = np.zeros(N-2)
. delta_vx = np.zeros(N-2)
. delta_vy = np.zeros(N-2)
.
. #Calculs des coordonnées des vecteurs
. for i in range(1,N-2):
.     vx[i] = (x[i+1]-x[i-1])/(2*delta_t)
.     vy[i] = (y[i+1]-y[i-1])/(2*delta_t)
.
. 60 for i in range(2,N-3):
.     delta_vx[i] = (vx[i+1]-vx[i-1])
.     delta_vy[i] = (vy[i+1]-vy[i-1])
.
. #tracer Les vecteurs
. trace_vect(x,y,vx,vy,50,5)
. trace_vect(x,y,delta_vx,delta_vy,50,5)
.
. #tracer Les positions
. plt.plot(x,y,"b.",label="Positions du satellite ")
. 70
. #tracer Le centre de rotation
. plt.plot(0,0,"bo")
```

Figure 1 : programme en langage python

Exercice 1

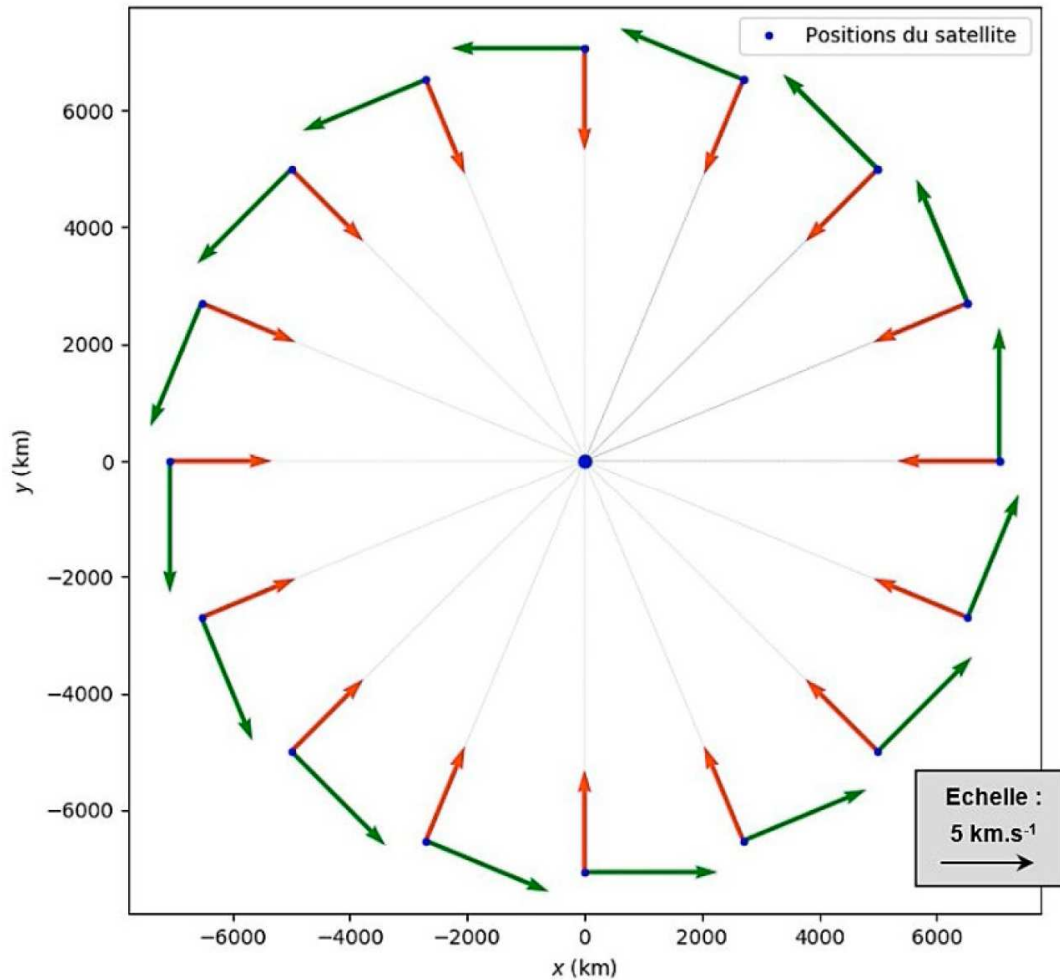


Figure 2 : vecteurs tracés après exécution du programme

- Q.1.** Indiquer les lignes du programme fourni qui permettent de calculer les coordonnées approchées des vecteurs variation de vitesse.
- Q.2.** Indiquer lequel des deux vecteurs représentés à une position du satellite donnée sur la figure 2 correspond au vecteur variation de vitesse. Justifier.
- Q.3.** Montrer à l'aide de l'échelle fournie sur la figure 2 que la valeur de l'accélération moyenne du satellite est voisine de $8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Le mouvement du centre de masse, S , du satellite ALOS est étudié dans le référentiel géocentrique supposé galiléen en utilisant le repère de Frenet (S, \vec{u}_t, \vec{u}_n). La masse du satellite est notée m .

- Q.4.** Exprimer, dans le repère de Frenet, la force d'interaction gravitationnelle exercée par la Terre sur le satellite ALOS en fonction de G, m, M_T, R_T, h . Représenter, sans souci d'échelle, cette force sur un schéma avec le repère de Frenet associé au satellite.
- Q.5.** Établir l'expression du vecteur accélération du satellite et calculer sa norme. Comparer à la valeur obtenue à la question Q.3.

Q.6. Montrer que le mouvement du satellite est uniforme et établir l'expression de sa vitesse :

$$v = \sqrt{\frac{G \times M_T}{R_T + h}}$$

Q.7. En déduire l'expression de la période de révolution du satellite en fonction de G , M_T , R_T , h . Calculer sa valeur.

Compte tenu de la rotation de la Terre sur elle-même, le satellite repasse tous les 46 jours à la verticale d'un même point de la surface terrestre.

Q.8. Déterminer le nombre d'orbites parcourues par le satellite ALOS avant de repasser au-dessus du même point.

2. Étude de la déformation du sol par interférométrie radar

Un satellite faisant de l'interférométrie radar est dit actif : il éclaire lui-même un point de la surface terrestre qu'il observe en émettant une onde radar et récupère le signal renvoyé.

L'interférométrie satellitaire radar (InSAR) est une technique d'imagerie utilisée principalement pour détecter des mouvements de terrain comme la contraction ou le gonflement des sols argileux et le suivi de l'activité des volcans.

Q.9. Écrire la relation entre la longueur d'onde, la célérité et la période de l'onde, en précisant les unités de ces grandeurs.

Q.10. Justifier, à l'aide du document ci-dessous, que les ondes émises par le satellite ALOS dont la longueur d'onde est 23,6 cm appartiennent au domaine des ondes radio.

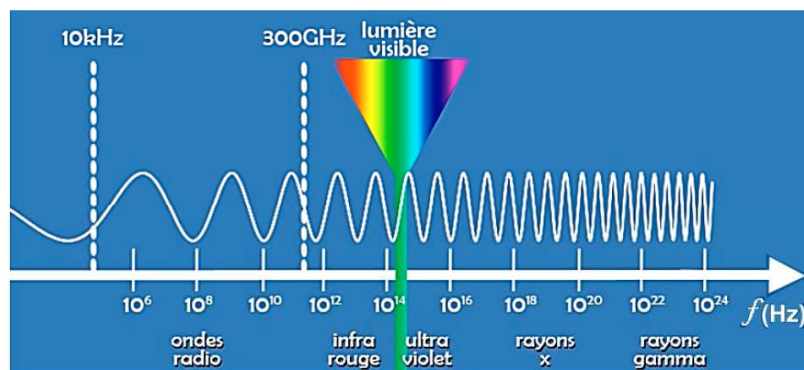


Figure 3 : spectre électromagnétique des ondes. © CEA

Le principe de la mesure de déplacement par InSAR est le suivant : le satellite capte une image de l'ensemble des points d'une même zone de la Terre depuis la même position dans le ciel à deux dates différentes (voir figure 4).

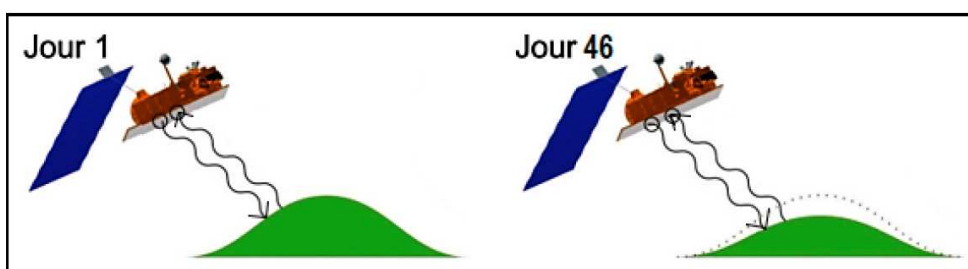


Figure 4 : trajets de l'onde émise par le satellite ALOS, pour un point de la zone étudiée

Une contraction ou un gonflement du sol survenant entre ces deux dates induit une variation de la distance entre le satellite et le sol. Cette variation génère une différence de marche entre les deux ondes radar reçues. Une figure d'interférences, appelée interférogramme, est obtenue par traitement informatique.

L'interférogramme réalisé permet de mesurer le déplacement du sol dans l'axe de visée du satellite.

On admettra que la variation d'altitude du sol est due uniquement à une contraction de ce dernier.

On note L la distance entre le satellite et le point visé à la surface de la Terre lors du premier passage et d le déplacement du sol dans l'axe de visée du satellite entre le premier et le deuxième passage du satellite.

Q.11. En exprimant la distance parcourue par l'onde radar lors du premier passage et celle parcourue par l'onde lors du deuxième passage, établir que la relation entre la différence de marche δ entre ces deux ondes et le déplacement du sol d est :

$$\delta = 2d$$

Q.12. En déduire que la relation entre le déplacement du sol d et la longueur d'onde λ pour que ces deux ondes soient en phase est :

$$d = k \times \frac{\lambda}{2} \text{ avec } k \text{ entier}$$

Du 30 mars au 1^{er} avril 2007, le volcan situé sur l'île de la Réunion a connu une crise éruptive. Cet évènement a été imagé par le satellite radar ALOS dont la longueur d'onde de travail est de 23,6 cm. L'analyse comparée des deux images (Jour 1 et Jour 46) a permis la construction d'un interférogramme.

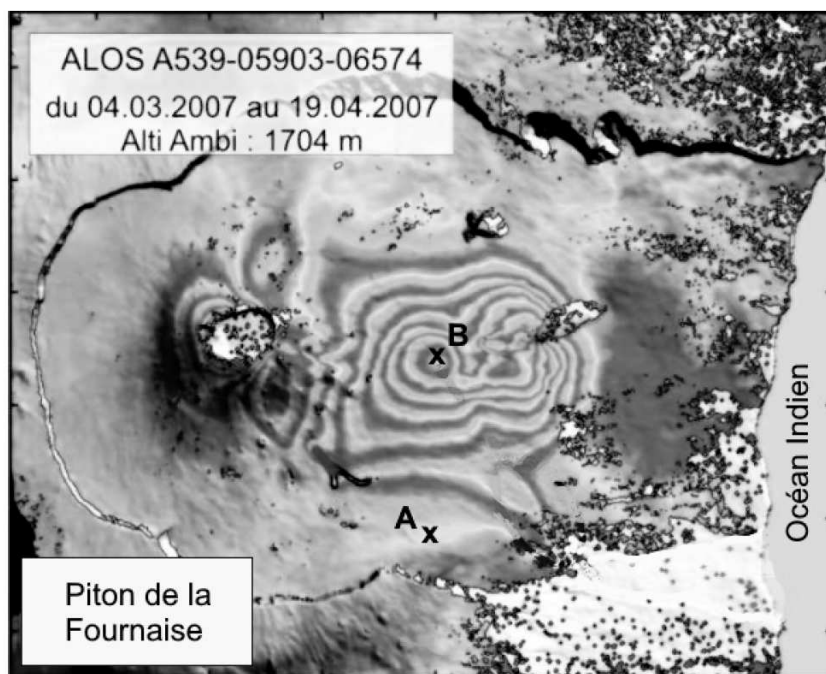


Figure 5 : interférogramme obtenu par superposition des images du 04 mars et du 19 avril 2007

Sur la figure 5, les franges les plus claires correspondent à des interférences constructives.

Q.13. Déterminer l'entier k entre les points A et B et en déduire la variation d'altitude du point B en supposant que le point A n'a pas subi de déplacement.

II-Panneaux Photovoltaïques

Durant la mission, les panneaux photovoltaïques de la sonde *PSP* servent à fournir l'énergie électrique nécessaire au fonctionnement des instruments de mesure embarqués. Ils permettent d'obtenir une puissance électrique utile $P_{el} = 340 \text{ W}$.

En 2025, au plus près du Soleil, ils devront être refroidis. Une puissance thermique P_{th} devra alors être évacuée grâce à de l'eau sous pression circulant entre les panneaux photovoltaïques et des radiateurs (**figure 4**). Lorsque le bouclier sera parfaitement orienté vers le Soleil, la puissance thermique à évacuer P_{th} sera 13 fois supérieure à la puissance électrique utile ; une erreur d'inclinaison du bouclier thermique de 1° entrainera une puissance thermique supplémentaire à dissiper de 35%.

Dans les questions suivantes, on se place dans le cas critique d'une erreur de 1° d'inclinaison du bouclier thermique.

Données :

- Masse volumique de l'eau liquide dans les conditions de pression et de température de la sonde *PSP* : $\rho_{eau} = 0,958 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$.
- Durée du passage à proximité du Soleil : $\Delta t = 110 \text{ h}$
- Pression de l'eau dans le circuit : 5 bar
- Température d'ébullition de l'eau sous 5,0 bar : $T_{éb} = 150^\circ\text{C}$
- Capacité thermique massique de l'eau : $C_{eau} = 4185 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$

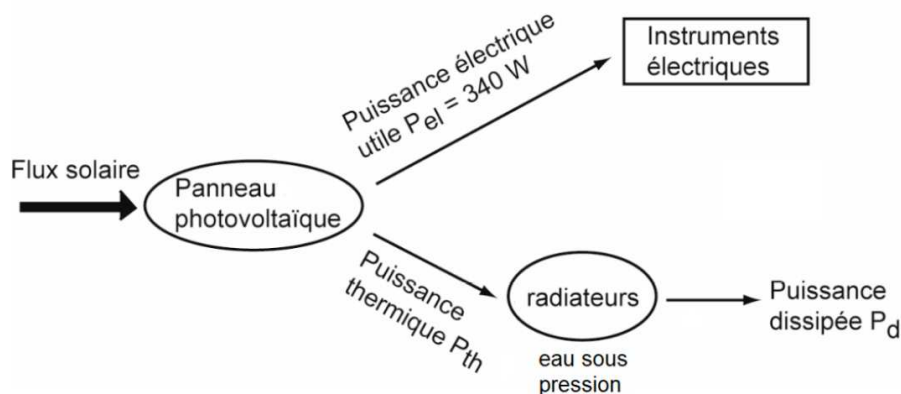


figure 4 – Diagramme énergétique de l'alimentation électrique de la sonde *PSP*

- 1- Sachant que les radiateurs peuvent dissiper une puissance maximale $P_{d,max} = 6000 \text{ W}$, montrer que ces radiateurs peuvent effectivement dissiper la puissance thermique cédée par les panneaux photovoltaïques à l'eau sous pression.

Pendant la durée Δt du passage à proximité du Soleil, l'équivalent d'un volume d'eau $V_{eau} = 7\,570 \text{ L}$ va circuler pour refroidir les panneaux solaires. La température de ce volume d'eau va passer de la valeur $T_{min} = 50^\circ\text{C}$ à une valeur maximale T_{max} que l'on cherche à déterminer.

On considère ici que la puissance thermique reçue par ce volume d'eau est $P_{th,max} = 6\,000 \text{ W}$.

- 2- Donner l'expression de l'énergie thermique Q_R reçue par l'eau en fonction de $P_{th,max}$ et Δt .
- 3- En supposant que l'élévation de température du volume total d'eau est uniquement due aux panneaux solaires, déterminer la température T_{max} atteinte et déterminer si le système de refroidissement risque ou non l'explosion.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à exposer sa démarche même si elle n'est pas complètement aboutie.

- Le bouclier thermique

La sonde *PSP* est protégée des rayonnements solaires par un bouclier thermique de surface S_b et d'épaisseur e (**figures 1 et 5**). Constamment tourné vers le Soleil, ce bouclier thermique permet de garder l'ensemble du corps de la sonde à une température convenable pour ne pas endommager les instruments embarqués.

Le bouclier thermique est composé d'un revêtement externe à base d'alumine, capable d'endurer de hautes températures jusqu'à 1900 K. Derrière ce revêtement, se trouve de la mousse de carbone, prise entre deux couches rigides en fibre de carbone, très résistantes à la température et à la déformation (**figure 5**).

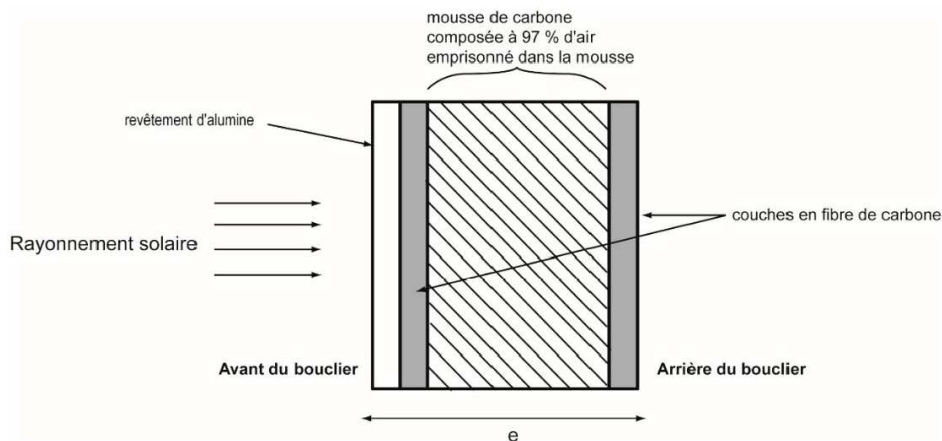


figure 5 – Schéma simplifié du bouclier thermique vu en coupe

Soumis à l'intense rayonnement du Soleil, la température à l'avant du bouclier atteint une valeur $T_{av} = 1700$ K et rayonne un flux thermique surfacique important φ_{av} . Par ailleurs, un flux thermique surfacique $\varphi_{ar} = 1,55$ kW · m⁻² traverse la surface S_b du bouclier vers l'arrière (**figure 6**). Pour permettre le bon fonctionnement de la sonde, il est impératif de limiter l'élévation de température à l'arrière du bouclier thermique en dépit de ce flux thermique surfacique élevé.

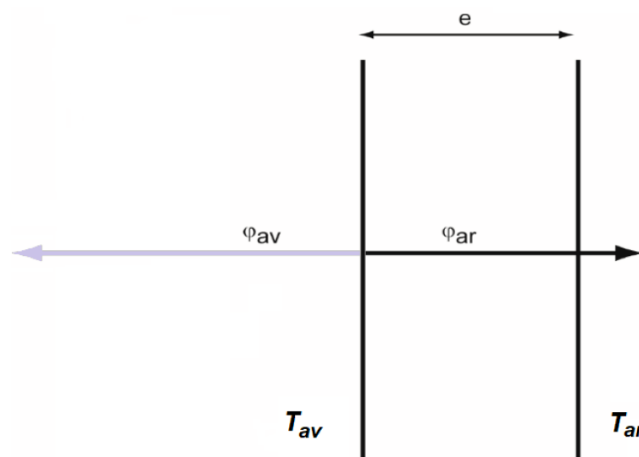


figure 6 – Flux thermiques au niveau du bouclier thermique

Données :

- Conductivités thermiques de quelques matériaux :

Matériau	Mousse de carbone	Alumine	Métaux	PVC
Conductivité thermique ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)	0,0262	37	20 à 400	0,17

- Caractéristiques du bouclier thermique :

- surface : $S_b = 16,6 \text{ m}^2$
- épaisseur : $e = 11,4 \text{ cm}$
- conductivité thermique du bouclier thermique : $\lambda = 0,140 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

- Résistance thermique R_{th} d'une paroi de surface S , d'épaisseur e et de conductivité thermique λ :

$$R_{th} = \frac{e}{\lambda \times S} \quad (\text{en } K \cdot W^{-1})$$

- Flux thermique Φ traversant une paroi de résistance thermique R_{th} et soumise à une différence de température $|\Delta T|$:

$$\Phi = \frac{|\Delta T|}{R_{th}}$$

- 4- Caractériser le mode de transfert thermique entre le Soleil et la sonde *PSP*.
- 5- Justifier l'utilisation de la mousse de carbone à l'intérieur du bouclier thermique.
- 6- Déterminer la valeur du flux thermique total vers l'arrière Φ .
- 7- À l'aide des caractéristiques du bouclier thermique et des données, déterminer l'écart de température $|\Delta T|$ entre les deux faces du bouclier thermique ainsi que la température T_{ar} à l'arrière du bouclier. Commenter

III- Stockage d'énergie électrique :

Un supracondensateur permet de stocker et de restituer rapidement de l'énergie électrique. Dans certains transports en commun, un supercondensateur est utilisé pour emmagasiner un maximum d'énergie électrique en quelques secondes lors des phases de freinage.

Si des condensateurs classiques étaient utilisés à la place des supercondensateurs, il faudrait des **armatures de très grandes surfaces et très rapprochées**, séparées par un excellent diélectrique.

Cet exercice a pour objectifs :

- de comparer qualitativement un supercondensateur avec un condensateur usuel ;
- d'étudier le comportement d'un supercondensateur lors de sa charge afin de déterminer expérimentalement la valeur de la capacité et de la comparer à celle fournie par le fabricant.

Données constructeur sur le supercondensateur étudié :

- dimensions : 35 mm × 60 mm
- capacité : 400 F
- tension maximale : 2,5 V
- énergie maximale : 0,35 Wh

1. Comparer la valeur de la capacité du supercondensateur étudié aux valeurs usuelles des capacités des condensateurs utilisées au lycée ou en électronique.

La valeur de la capacité C d'un condensateur plan peut être déterminée à l'aide de la relation :

$$C = \varepsilon \frac{S}{d}$$

où :

- S est la surface en regard des deux armatures,
- d est l'écartement entre les deux armatures,
- ε est une constante caractéristique du matériau isolant placé entre les deux armatures.

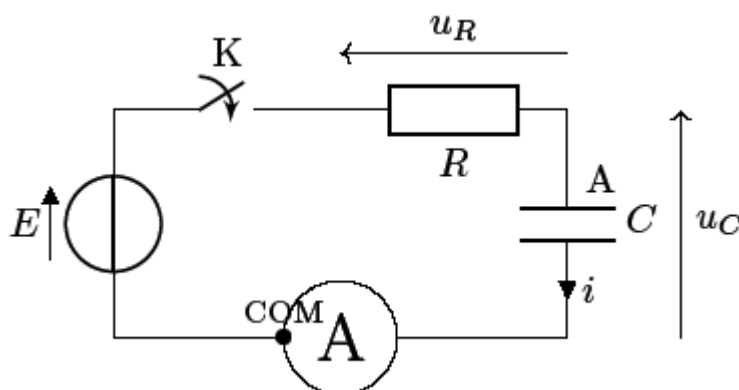


2. Justifier qualitativement les parties en italique et soulignées du texte de présentation des supercondensateurs.

Étude du modèle du circuit RC série

On souhaite déterminer la valeur de la capacité du supercondensateur en utilisant un cycle de charge dans un circuit RC. Pour cela, on étudie dans un premier temps le comportement d'un modèle de circuit RC série. On considère le circuit électrique schématisé ci-dessous composé d'une source idéale de tension E , d'un interrupteur K , d'un conducteur ohmique de résistance R , du supercondensateur de capacité C et d'un ampèremètre de résistance interne négligeable (la tension aux bornes de l'ampèremètre est considérée comme nulle).

Le supercondensateur est initialement déchargé. À l'instant $t = 0$ s, on ferme l'interrupteur.



3. Donner la relation entre l'intensité $i(t)$ du courant électrique et la dérivée de la charge $q(t)$ portée par l'armature A du supercondensateur, puis la relation entre l'intensité $i(t)$, la capacité C et la dérivée de la tension électrique $u_C(t)$ aux bornes du condensateur.

4. Montrer que l'équation différentielle dont la tension électrique $u_c(t)$ aux bornes du condensateur est une solution est de la forme :

$$\frac{du_c}{dt} + \frac{1}{\tau} u_c(t) = \frac{E}{\tau}$$

Exprimer la constante de temps τ en fonction de R et de C .

5. Vérifier que les solutions de cette équation différentielle sont de la forme :

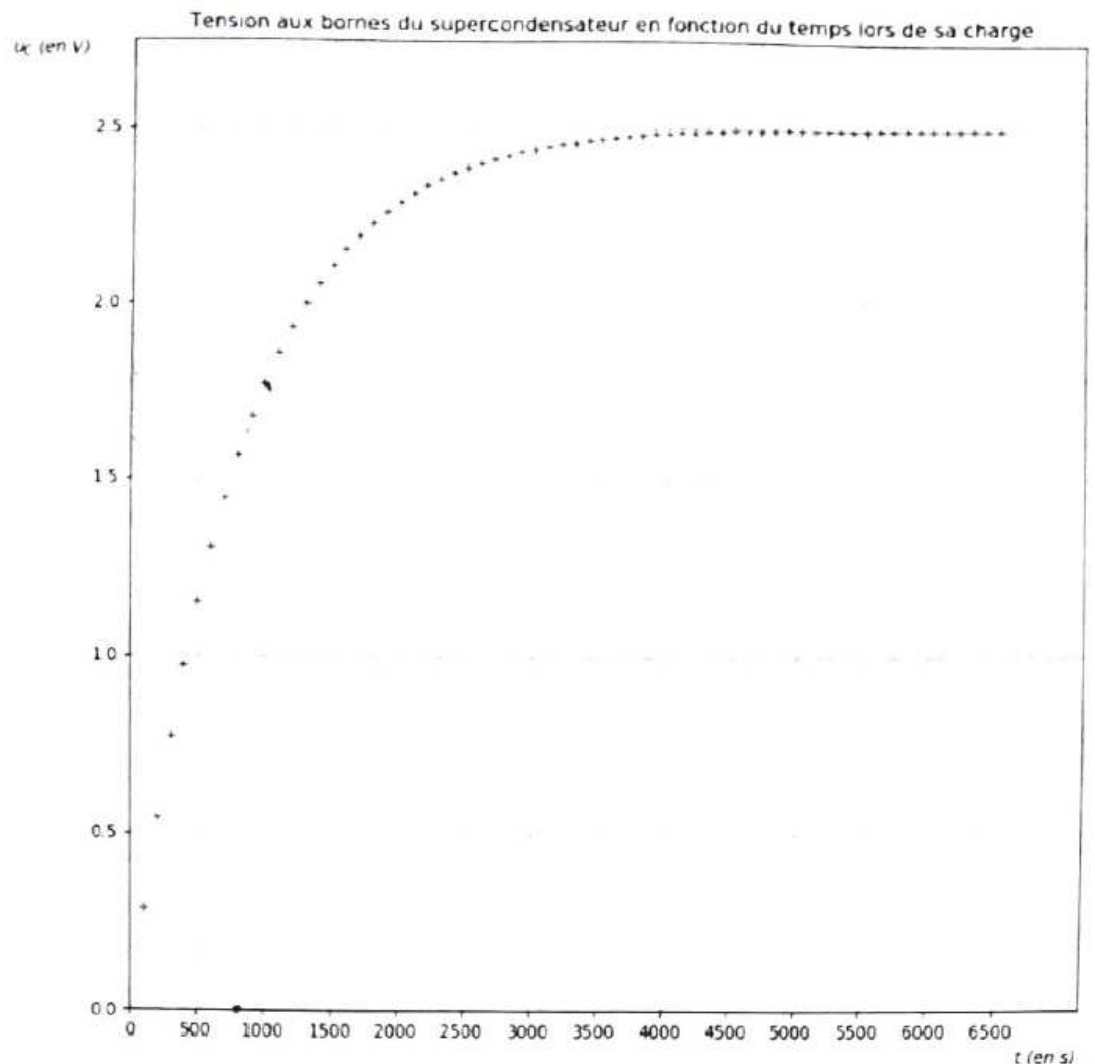
$$u_c(t) = Ae^{(-t/\tau)} + E$$

Déterminer l'expression de A pour la situation étudiée.

Étude expérimentale et détermination de la valeur de la capacité

On réalise le montage précédent avec une source idéale de tension de valeur $E = 2,5 \text{ V}$ et un conducteur ohmique de résistance $R = 2,0 \Omega$.

À l'aide d'une carte d'acquisition, on réalise le suivi temporel de la tension aux bornes du supercondensateur durant sa charge.



6. Déterminer la valeur C_1 de la capacité du supercondensateur en explicitant la démarche suivie.

À l'aide d'un microcontrôleur et d'un programme en python, on peut reproduire l'expérience un grand nombre de fois pour affiner la détermination du temps caractéristique du dipôle RC réalisé avec ce même supercondensateur. Ce programme permet d'obtenir le temps caractéristique du dipôle RC en déterminant la date pour laquelle le condensateur est chargé à 63 %.

Après 10 exécutions successives du programme, on obtient, pour le temps caractéristique du dipôle RC , la série de valeurs suivantes exprimées en ms :

811614 ; 818076 ; 810301 ; 810495 ; 818526 ; 812067 ; 811327 ; 813109 ; 817838 ; 819474

La moyenne $\bar{\tau}_2$ de série de mesures est $\bar{\tau}_2 = 814,2827$ s.

La calculatrice donne 1,175 s pour le calcul de l'incertitude-type.

7. Écrire de manière **appropriée** le résultat de la mesure du temps caractéristique avec son incertitude-type. On estime que l'incertitude-type de la résistance du conducteur ohmique est $u(R) = 0,1 \Omega$. L'incertitude-type sur la valeur de la capacité C_2 du supercondensateur se déduit des mesures de la résistance et du temps caractéristique moyen par la relation :

$$u(C_2) = C_2 \sqrt{\left(\frac{u(R)}{R}\right)^2 + \left(\frac{u(\bar{\tau}_2)}{\bar{\tau}_2}\right)^2}$$

8. Déterminer la valeur de la capacité C_2 du supercondensateur ainsi que son incertitude-type.

9. Comparer la valeur de la capacité C_2 mesurée expérimentalement avec la valeur de référence C_{ref} donnée par le constructeur en utilisant le quotient

$$\frac{|C_2 - C_{\text{ref}}|}{u(C_2)}$$

Conclure.

Fiche réponse devoir de vacances NOM :

Exercice	a	b	c	d
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				

8-	a	b	c	d
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				