

PHYSIQUE-CHIMIE. DEVOIR SURVEILLÉ 6

Samedi 10/01/2026. Durée : 4h

CONSIGNES

- ▷ **La calculatrice est interdite.** Les autres outils électroniques (téléphone, tablette...) et documents papier sont strictement interdits. Un brouillon est autorisé.
- ▷ Utiliser uniquement un stylo noir ou bleu foncé non effaçable pour la rédaction de votre composition ; d'autres couleurs, excepté le vert, peuvent être utilisées, mais exclusivement pour les schémas et la mise en évidence des résultats.
- ▷ Ne pas utiliser de correcteur.
- ▷ Écrire le mot FIN à la fin de votre composition.
- ▷ Numéroté les pages de votre composition.

Ce sujet comporte cinq parties complètement indépendantes.

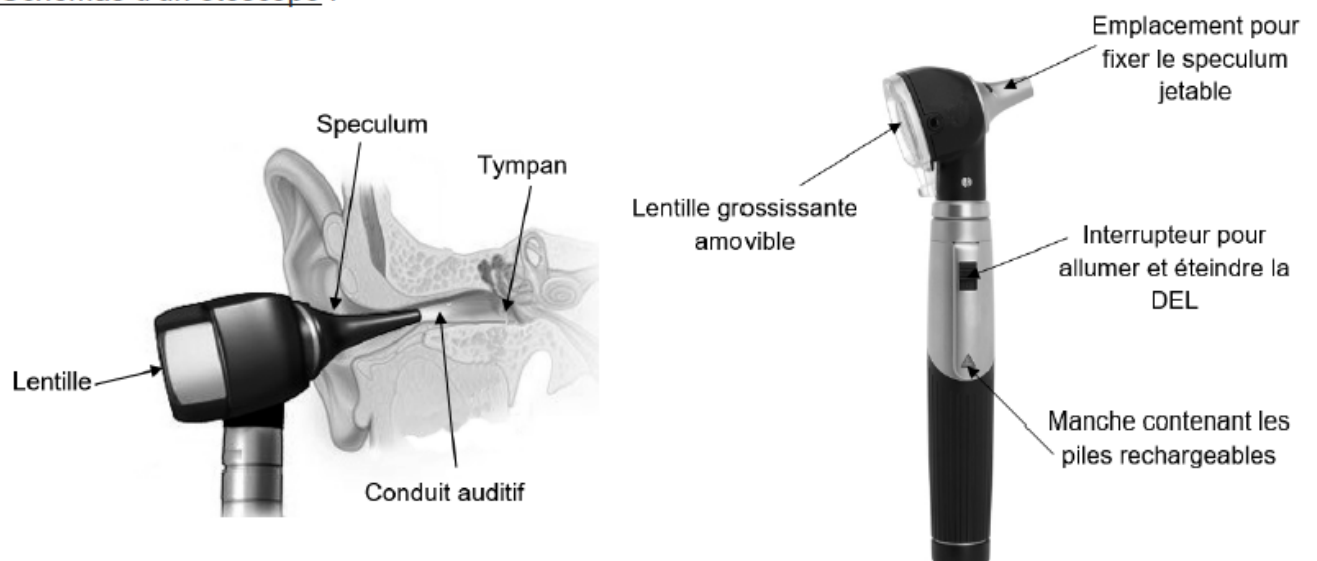
Partie I - L'otoscope

L'otoscope est un des instruments les plus utilisés lors de la pratique de la médecine générale. Cet outil médical permet d'observer le conduit auditif externe et le tympan.

Le premier otoscope a été inventé par le médecin français Jean-Pierre Bonnafont en 1834. Actuellement, les otoscopes sont constitués d'un manche contenant une alimentation électrique et d'une tête munie d'un système lumineux, d'une lentille grossissante et d'un speculum¹ jetable.

¹ Pièce en forme de cône ouverte à ses deux extrémités qui permet d'explorer le conduit auditif en maintenant ses parois écartées.

Schémas d'un otoscope :



Extrait d'une brochure d'un catalogue médical :

Caractéristiques de l'otoscope :

- Masse de l'otoscope : 130 g avec les piles
- Éclairage DEL fibre optique : 2,5 V - 250 mA
- Température de couleur : 4000 K
- Éclairement : 8500 lux
- Grandissement $\times 3$
- Autonomie de fonctionnement : 10 h

Données :

- relation de conjugaison de Descartes : $\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{OF'}$;

- relation du grandissement : $\gamma = \frac{A'B'}{AB} = \frac{OA'}{OA}$.

Après avoir démonté la lentille de l'otoscope, on souhaite déterminer la valeur de sa distance focale.

Q1. Proposer une méthode expérimentale simple permettant de vérifier expérimentalement le caractère convergent de la lentille.

Afin de déterminer la valeur de la distance focale de la lentille, on procède à une série de mesures sur un banc d'optique. Pour cela, on place la lentille de centre optique O à différentes distances OA d'un objet lumineux AB perpendiculaire à l'axe optique. Pour chaque valeur de la distance OA, on mesure la valeur de la distance OA' entre l'écran et le centre optique O de la lentille lorsqu'on observe une image A'B' nette sur l'écran placé perpendiculairement à l'axe optique.

Les résultats sont regroupés dans le tableau fourni en annexe.

Q2. Compléter le tableau de l'annexe à rendre avec la copie et placer le point correspondant sur le graphique représentant l'évolution de $\frac{1}{OA'}$ en fonction de $\frac{1}{OA}$.

Q3. Exploiter le graphique de l'annexe à rendre avec la copie pour déterminer la valeur de la distance focale de la lentille.

Un médecin utilise un modèle d'otoscope équipé d'une lentille convergente de distance focale $OF' = 7,5$ cm pour observer le tympan d'un patient adulte. Lorsque l'instrument est introduit dans le conduit auditif du patient, la lentille de l'otoscope se trouve à une distance $OA = 5,0$ cm du tympan. Ce dernier a une taille $AB = 1,0$ cm.

Q4. Compléter, sur l'annexe à rendre avec la copie, le schéma modélisant la situation, puis construire l'image A'B' du tympan à travers la lentille de l'otoscope.

Q5. Déterminer graphiquement les caractéristiques de l'image obtenue : position, taille, sens et nature.

Q6. À partir de la relation de conjugaison de Descartes, retrouver la position de l'image construite.

Q7. Calculer le grandissement et commenter le résultat par rapport aux données de la brochure.

Partie II - Lampe de secours rechargeable

Sur un bateau, il est recommandé d'avoir une lampe à bord pour être vu en cas de détresse, ou tout simplement pour se déplacer par nuit noire à l'intérieur ou sur le pont. Pour ne pas avoir à gérer des piles défaillantes ou des accumulateurs non chargés, une "lampe à secouer" peut s'avérer utile.



FIGURE 1 – Photographie d'une lampe à secouer

Un extrait d'une description publicitaire de cet objet est donné ci-dessous.

En secouant la lampe 30 secondes (un peu comme une bombe de peinture), de l'énergie électrique est produite et stockée dans un condensateur. Vous obtenez alors environ 20 minutes d'une lumière produite par une DEL (diode électroluminescente). Si vous n'utilisez pas toute l'énergie produite, elle restera stockée dans le condensateur pendant plusieurs semaines pour être ensuite immédiatement disponible sur simple pression du bouton marche/arrêt.

Q8. Le condensateur dans la lampe à secouer a une capacité $C = 10\text{F}$. Commenter cette valeur en la comparant à un ordre de grandeur de capacité usuelle en travaux pratiques.

Le condensateur vient d'être chargé, la tension à ses bornes vaut $U_0 = 3,3\text{V}$. On cesse alors d'agiter la lampe et donc de charger le condensateur.

Q9. Exprimer l'énergie électrique E_e stockée dans le condensateur à l'issue de la charge en fonction de U_0 et C . Faire l'application numérique.

On étudie la décharge de ce condensateur dans un conducteur ohmique de résistance R pouvant modéliser une lampe à incandescence.

Le circuit est représenté ci-dessous. La partie de circuit qui était utile lors de la phase de charge du condensateur n'y est pas représentée.

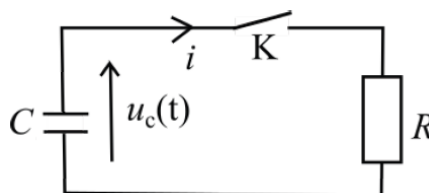


FIGURE 2 – Circuit électrique équivalent lors de la phase de décharge du condensateur

À l'instant initial $t = 0$, on ferme l'interrupteur K et la décharge commence.

Q10. Établir l'équation différentielle vérifiée par $u_C(t)$ pendant la décharge et montrer qu'elle peut s'écrire sous la forme

$$\frac{du_C}{dt} + \frac{u_C}{\tau} = 0,$$

où $\tau = RC$ est la constante de temps du circuit.

Q11. Justifier par analyse dimensionnelle que la constante de temps τ a bien l'unité d'un temps.

Q12. Déterminer l'expression littérale de la solution de cette équation différentielle, en tenant compte de la condition initiale.

Q13. Représenter graphiquement l'allure de l'évolution de $u_C(t)$ en mettant en évidence les points importants du graphe (valeur et tangente à l'origine, asymptote).

Q14. Justifier qu'au bout d'une durée $t = 5\tau$, la décharge du condensateur est quasi-complète. Si l'on considère que cette durée est égale à 20 minutes, déterminer la valeur de la résistance R du conducteur ohmique qu'il faut alors associer au condensateur.

Aide au calcul :

$$e^{-5} = 6,7 \times 10^{-3}$$

La capacité d'un condensateur plan dépend de plusieurs paramètres :

- la permittivité diélectrique ϵ du milieu entre les armatures, qui s'exprime en $F \cdot m^{-1}$;
- la surface S en regard sur les deux armatures ;
- la distance e qui sépare les deux armatures.

Q15. Dans le cadre du modèle du condensateur plan, expliquer comment modifier les paramètres géométriques du condensateur pour obtenir la capacité la plus grande possible.

Un modèle électrique plus élaboré du condensateur utilisé ici permet de traduire, plus fidèlement à la réalité, son comportement réel dans un circuit. Un des modèles possibles fait apparaître, autour de la capacité C , une résistance R_f en parallèle et une résistance R_s en série conformément au schéma ci-dessous :

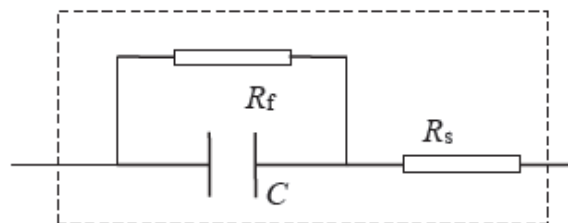


FIGURE 3 – Modèle plus fidèle à la réalité pour le " super-condensateur "

Q16. Indiquer le passage du texte publicitaire qui peut être expliqué dans le cadre de ce modèle mais pas dans le cadre du modèle du condensateur idéal. Vous justifierez qualitativement votre réponse, aucune application numérique n'est attendue.

Q17. Dans cette application de stockage et de restitution d'énergie, faut-il R_s la plus grande ou la plus petite possible ? Justifier. Même question pour R_f .

On remplace maintenant le conducteur ohmique de résistance R par une diode électroluminescente (DEL) dont la caractéristique courant-tension est donnée ci-dessous :

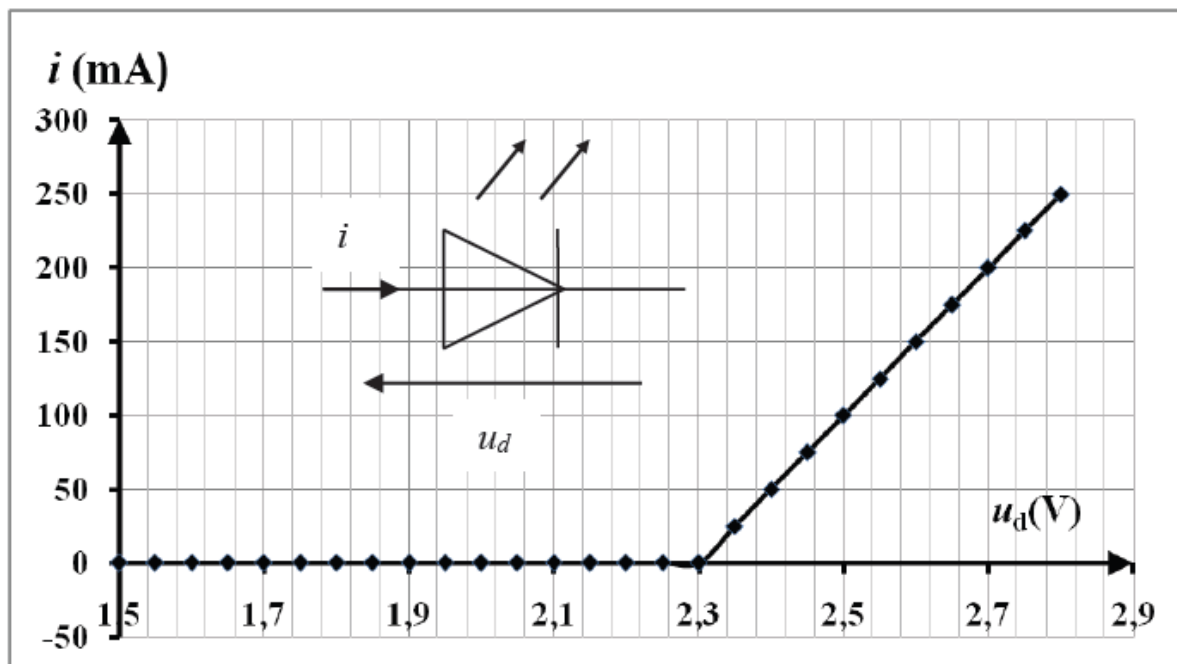
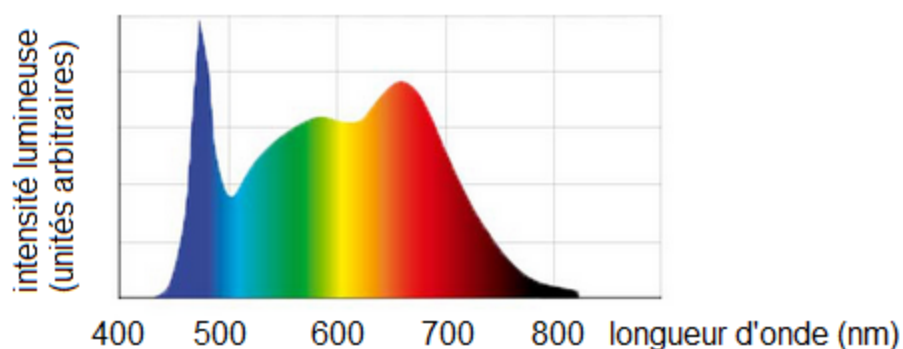


FIGURE 4 – Caractéristique $i = f(u_d)$ pour la DEL

Pour cette diode, on appelle U_{seuil} la tension minimale au-delà de laquelle la diode devient passante, c'est-à-dire qu'elle laisse passer le courant.

Q18. Proposer un modèle électrique équivalent pour la DEL lorsqu'elle est passante (valeurs numériques attendues).

On s'intéresse à présent à la lumière émise par la DEL. Un spectromètre à fibre optique a permis d'obtenir le spectre de la DEL, représenté ci-dessous :



Q19. Indiquer si ce spectre est un spectre continu ou un spectre de raies. Identifier le domaine spectral auquel appartient le rayonnement émis par la DEL.

Q20. Déterminer un ordre de grandeur du nombre de photons émis par la DEL lors de la phase de fonctionnement de la lampe.

Données :

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

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

Partie III - Le satellite ALOS

Lancé en 2006 par le Japon, le satellite ALOS (Advanced Land Observing Satellite) a permis d'observer la Terre, notamment dans le domaine radar.



FIGURE 5 – Le satellite ALOS (image de synthèse)

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) circulaire dans le référentiel géocentrique à une altitude $h = 692$ km. Le satellite se déplace à une vitesse constante, 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 fourni ci-dessous 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.

```
. #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")
```

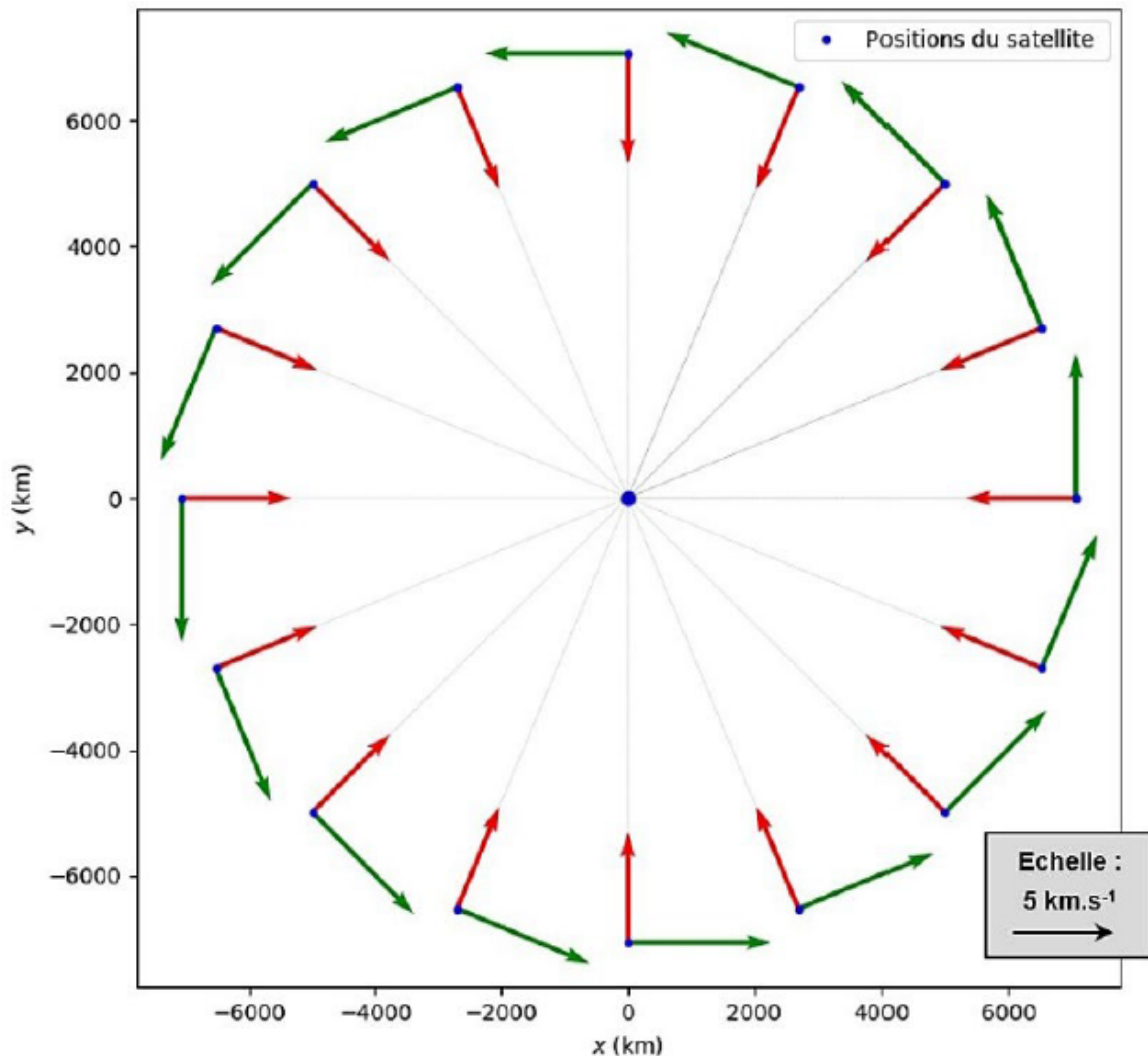


FIGURE 6 – vecteurs tracés après exécution du programme

Q.21 Indiquer les lignes du programme fourni qui permettent de calculer les coordonnées approchées des vecteurs variation de vitesse.

Q.22 Indiquer lequel des deux vecteurs représentés à une position du satellite donnée sur la figure 6 correspond au vecteur vitesse, et lequel est proportionnel au vecteur accélération. Justifier.

Q23. Montrer à l'aide de l'échelle fournie sur la figure 6 que la valeur de l'accélération moyenne du satellite est voisine de $8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Q24. Caractériser le mouvement du satellite, modélisé par un point matériel, dans le référentiel géocentrique. En déduire l'expression littérale de la valeur de l'accélération a du satellite en fonction de la vitesse v , du rayon de la Terre R_T et de son altitude h . Faire l'application numérique et commenter.

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.

Q25. Déterminer le nombre d'orbites parcourues par le satellite ALOS avant de repasser au dessus du même point.

Donnée :

▷ rayon de la Terre : $R_T = 6,37 \times 10^6 \text{ m}$;

Aide au calcul :

$$\frac{6 \times 10^3}{369,3} = 16,2 ; \left(\frac{2,7}{3,6}\right)^2 = 0,56 ; \frac{5,6}{7,1} = 0,79 ; \frac{7,1 \times 6,28 \times 3,6}{2,7} = 59 ; \frac{5900}{24 \times 3600} = 0,068 ; \frac{46}{0,068} = 676.$$

2. Étude de la déformation du sol par interférométrie radar

Un satellite faisant de l'interférométrie radar est dit actif : il éclaire un point de la surface terrestre qu'il observe en émettant une onde radar et récupère le signal renvoyé. Dans ce qui suit, on fera l'hypothèse que cette onde électromagnétique est sinusoïdale.

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.

Q26. Écrire la relation entre la célérité, la longueur d'onde et la période de l'onde, en précisant les unités de ces grandeurs.

Q27. 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.

Aide au calcul : $\frac{3,0}{23,6} = 0,127$.

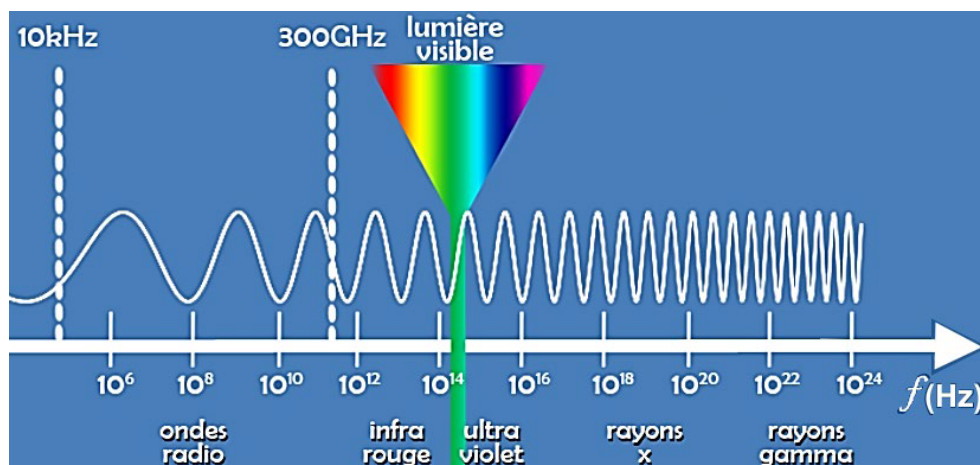


FIGURE 7 – spectre des ondes électromagnétiques

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 8).



FIGURE 8 – trajets de l'onde émise par le satellite ALOS

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.

Q28. En exprimant la distance parcourue par l'onde radar lors du premier passage et celle parcourue par l'onde lors du deuxième passage, établir la relation entre la différence de marche δ entre ces deux ondes et le déplacement du sol d .

Q29. 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 $d = \frac{k\lambda}{2}$ avec k un entier.

Du 30 mars au 1er avril 2007, le volcan situé sur l'île de la Réunion a connu une crise éruptive. Cet événement 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.

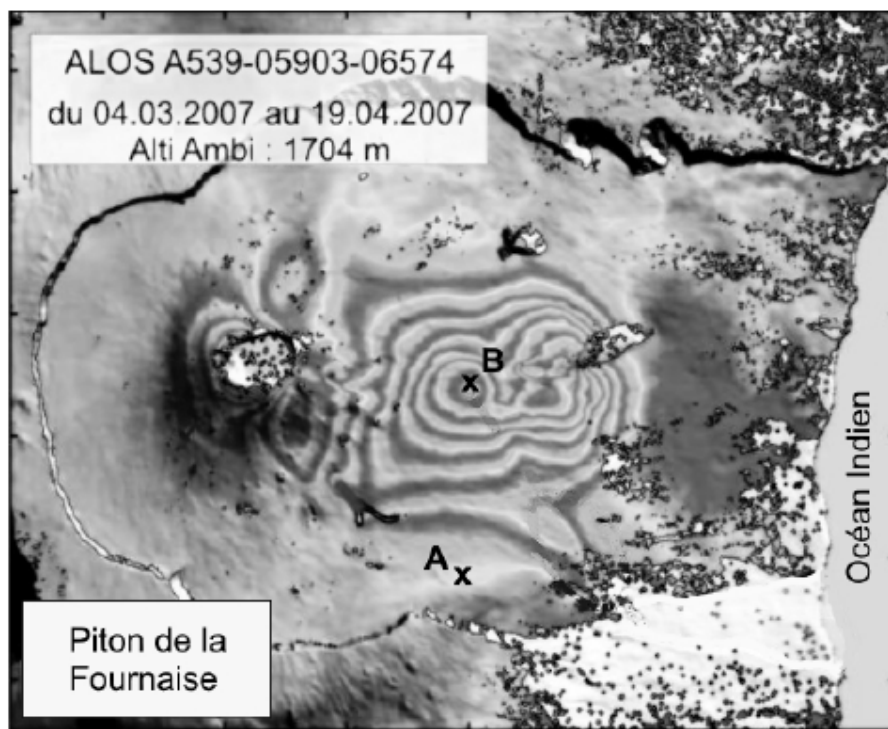


FIGURE 9 – interférogramme obtenu par superposition des images du 04 mars et du 19 avril 2007

Sur la figure 9, les franges les plus claires correspondent à des interférences constructives.

Q30. Déterminer l'entier k entre les points A et B. En déduire la variation d'altitude du point B en supposant que le point A n'a pas subi de déplacement.

Partie IV - Le procédé Haber-Bosch de synthèse de l'ammoniac

L'ammoniac $\text{NH}_{3(g)}$ est un intermédiaire important dans l'industrie chimique qui l'utilise comme précurseur pour la production d'engrais, d'explosifs et de polymères. Sa production mondiale se chiffre en centaines de millions de tonnes.

La production de telles quantités de ce gaz a été rendue possible par l'apparition du procédé Haber-Bosch qui permet la synthèse de l'ammoniac à partir du diazote, présent en abondance dans l'atmosphère, et du dihydrogène, obtenu par reformage du méthane à la vapeur d'eau, selon la réaction :



Cette transformation est lente, pour l'accélérer on utilise un catalyseur à base de fer.

Q31. Identifier la nature (physique, chimique ou nucléaire) de la transformation modélisée par l'équation de réaction (1), en justifiant votre réponse.

Dans les conditions de la synthèse, le fer se présente sous sa variété allotropique α , dans laquelle il cristallise selon une structure cubique centrée.

Q32. Faire une représentation en perspective de la maille permettant de décrire cette structure et déterminer le nombre d'atomes de fer par maille.

Les réactifs de la synthèse, diazote et dihydrogène, sont introduits en proportions stœchiométriques dans le réacteur qui est maintenu, tout au long de la synthèse, à une pression totale P de 300 bar et à une température T de 723K. La constante d'équilibre vaut alors $K^\circ = 2,77 \times 10^{-5}$.

Q33. Exprimer le quotient de réaction Q_r en fonction des pressions partielles des différents constituants du système et de la pression standard P° .

Q34. Relier le quotient de réaction aux quantités de matière des différents constituants du système, à la quantité de matière totale, à la pression totale et à la pression standard.

Q35. En réalisant un tableau d'avancement (on notera n_0 la quantité de matière initiale de diazote introduit dans le réacteur), exprimer les quantités de matière des différents constituants du système ainsi que la quantité de matière totale en fonction de n_0 et de l'avancement ξ de la réaction.

Q36. On définit le rendement ρ de la synthèse comme le quotient de la quantité de matière d'ammoniac obtenue à l'équilibre et de la quantité maximale d'ammoniac susceptible d'être obtenue si la réaction était totale. Exprimer le rendement ρ de la synthèse en fonction de n_0 et de l'avancement à l'équilibre ξ_{eq} .

Q37. En déduire les expressions des quantités de matière des différents constituants du système et de la quantité de matière totale en fonction de n_0 et ρ .

Q38. Montrer alors que la constante d'équilibre peut s'écrire :

$$K^\circ = \frac{16\rho^2(2-\rho)^2}{27(1-\rho)^4} \left(\frac{P^\circ}{P} \right)^2. \quad (2)$$

Afin d'évaluer le rendement ρ dans les conditions de la synthèse, on écrit le programme suivant en langage python :

```

1. import matplotlib.pyplot as plt
2. import numpy as np
3.
4. def Qr(x):
5.     .....
6.
7. def f(x):
8.     return 2.77e-5-Qr(x)
9.
10. def dichotomie(f,a,b,epsilon):
11.     while (b-a)/2>epsilon:
12.         c=(a+b)/2
13.         if f(a)*f(c)>0:
14.             a=c
15.         else:
16.             b=c
17.     return (a+b)/2
18.
19. ....

```

Les lignes de code numéro 5 et 19 servent respectivement à définir une fonction qui représente le quotient de réaction en fonction du rendement noté x , et à afficher dans le terminal la valeur du rendement déterminé par la méthode de dichotomie à 0,001 près.

Q39. Écrire les lignes de code 5 et 19 manquantes.

Q40. Quand on exécute le code convenablement complété, le nombre 0.4267578125 s'affiche dans le terminal. En déduire la valeur du rendement ρ dans les conditions de la synthèse, avec un nombre de chiffres significatifs approprié.

Q41. Quel serait l'effet d'une diminution de la pression totale, à température constante, sur le rendement de la synthèse ? Justifier. Cela est-il cohérent avec les conditions choisies pour la synthèse industrielle ?

Q42. Quel serait l'effet d'une diminution de la température à pression constante sur le rendement de la synthèse ? Justifier.

Q43. La synthèse industrielle s'effectue à 450°C, une température relativement élevée. Quelle peut être, à votre avis, la raison de ce choix ?

Partie V - Décomposition de l'eau oxygénée

L'eau oxygénée, aussi appelée peroxyde d'hydrogène, a pour formule H_2O_2 . C'est une espèce chimique soluble dans l'eau sous forme moléculaire : en solution aqueuse, on la note $\text{H}_2\text{O}_{2(aq)}$.

On donne les numéros atomiques Z , nombres de masse A et masses molaires M suivants :

- ▷ pour l'hydrogène H : $Z_{\text{H}} = 1$, $A_{\text{H}} = 1$, $M_{\text{H}} = 1,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$;
- ▷ pour l'oxygène O : $Z_{\text{O}} = 8$, $A_{\text{O}} = 16$, $M_{\text{O}} = 16,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Q44. Donner, en justifiant, la composition précise (nombre et type de nucléons, nombre d'électrons) des atomes d'hydrogène et d'oxygène.

Q45. Écrire les configurations électroniques de ces deux atomes dans leurs états fondamentaux. Identifier leurs électrons de valence. En déduire les schémas de Lewis de l'hydrogène et de l'oxygène.

Q46. Déterminer les schémas de Lewis du dioxygène O_2 , de l'eau H_2O et de l'eau oxygénée H_2O_2 . Justifier, en prenant un exemple pour chaque atome, que les règles de l'octet et du duet sont vérifiées.

Une solution pharmaceutique d'eau oxygénée contient 3% en masse d'eau oxygénée ; sa densité est $d = 1,04$.

Q47. Exprimer et calculer numériquement avec un chiffre significatif la concentration C , en $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, de cette solution pharmaceutique.

On s'intéresse à présent à la décomposition de l'eau oxygénée :



Cette réaction est lente et sa loi de vitesse est d'ordre 1 par rapport à l'eau oxygénée H_2O_2 . Une étude expérimentale permet de déterminer sa constante cinétique à 25°C : $k = 2,01 \cdot 10^{-3} \text{ SI}$.

On note $C(t)$ la concentration $[H_2O_{2(aq)}]$ en eau oxygénée à l'instant t . À l'instant $t = 0$, la concentration en eau oxygénée est $C_0 = C(t = 0) = 1,00 \times 10^3 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-3}$.

Q48. Exprimer la vitesse de disparition de l'eau oxygénée en fonction de k et de $C(t)$. En déduire, par une analyse dimensionnelle, l'unité SI de k .

Q49. Montrer que l'équation différentielle à laquelle obéit la concentration $C(t)$ est :

$$\frac{dC}{dt} + 2kC = 0.$$

Q50. En déduire la loi horaire $C(t)$ donnant l'évolution de la concentration en fonction du temps.

Q51. Définir le temps de demi-réaction $t_{1/2}$ de cette réaction. L'exprimer littéralement et faire l'application numérique.

Aide au calcul : $\frac{\ln(2)}{2,01} = 0,345$.

Q52. Dans certaines notices, on lit qu'une eau oxygénée, en flacon jamais ouvert, est stable pendant douze mois. Commenter cette information.

FIN

Annexe à rendre avec la copie

\overline{OA} (en cm)	- 10,0	- 15,0	- 20,0	- 30,0	- 40,0
$\overline{OA'}$ (en cm)	29,3	15,0	12,0	10,0	9,20
$\frac{1}{\overline{OA}}$ (en cm^{-1})	$- 1,00 \times 10^{-1}$	$- 6,67 \times 10^{-2}$	$- 5,00 \times 10^{-2}$	$- 2,5 \times 10^{-2}$
$\frac{1}{\overline{OA'}}$ (en cm^{-1})	$3,41 \times 10^{-2}$	$6,67 \times 10^{-2}$	$8,33 \times 10^{-2}$	$1,09 \times 10^{-1}$

FIGURE 10 – Tableau à compléter (pour la question **Q2.**)

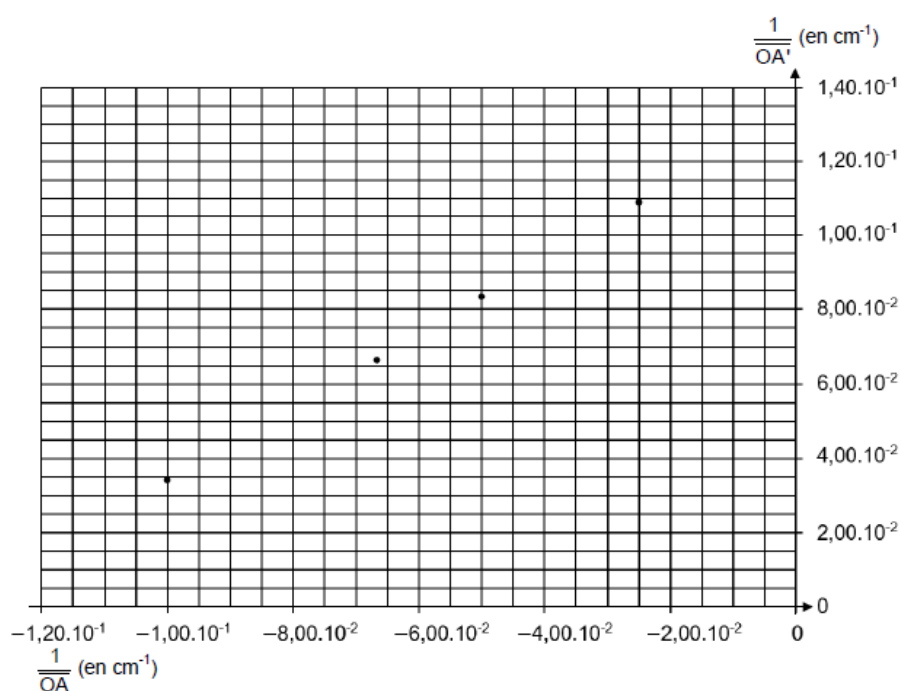


FIGURE 11 – Graphique à compléter (pour les questions **Q2.** et **Q3.**)

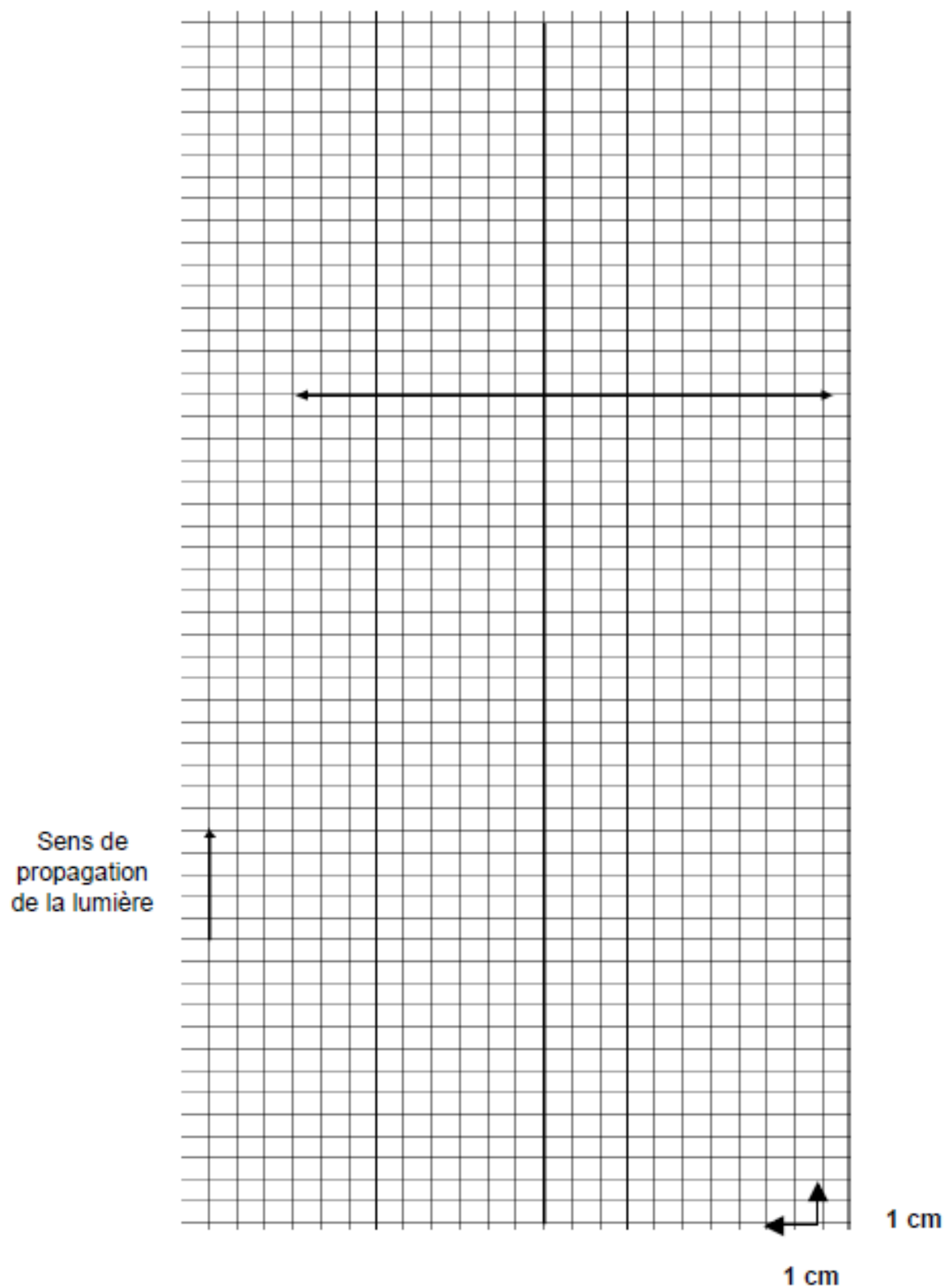


FIGURE 12 – Schéma à compléter par un tracé de rayons (pour la question **Q4.**)