

PHYSIQUE-CHIMIE. DEVOIR SURVEILLÉ 4

Samedi 22/11/2025. Durée : 4h

CONSIGNES

- ▷ **La calculatrice est autorisée.** 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.
- ▷ Numérotter les pages de votre composition.

Le sujet comporte **cinq parties indépendantes**.

Partie I - Paiement sans contact

Apparu en France en 2012, le paiement sans contact permet de régler ses achats facilement et rapidement avec sa carte bancaire ou son téléphone portable. Placé à environ 4 cm du terminal de paiement, le circuit de la puce électronique intégré dans la carte reçoit un signal électromagnétique qui l'active. Le temps de réponse du circuit doit être de 1 à 2 secondes. Il est alors assez long pour permettre à la puce de transmettre un code identificateur au terminal sans être trop long pour l'utilisateur.

L'objectif de cet exercice est de modéliser une partie du circuit de la puce électronique et de vérifier que le modèle permet d'accéder au temps de réponse attendu.

Le circuit de la puce électronique présente sur une carte bancaire est modélisé selon le schéma de la figure 1 ci-dessous.

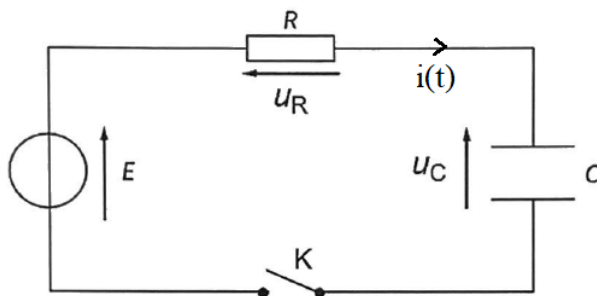


FIGURE 1 – Schéma du circuit électrique

Le conducteur ohmique de résistance $R = 100 \text{ k}\Omega$ représente la résistance électrique de la puce électronique.

Le générateur de tension $E = 5,0 \text{ V}$ modélise l'antenne réceptrice de l'onde émise par le terminal de paiement.

Lorsque la carte bancaire est suffisamment proche du terminal, un courant électrique prend naissance dans le circuit. Ceci correspond à l'instant initial $t_0 = 0$ auquel l'interrupteur K est fermé. Le condensateur, de capacité $C = 40 \text{ }\mu\text{F}$, se charge alors avec une constante de temps notée τ .

On considère que le temps de réponse du circuit électronique de la puce est $t_r = \tau$.

L'évolution de la tension u_C aux bornes du condensateur au cours de la charge est donnée en annexe (à rendre avec la copie).

Q1. Exprimer l'intensité $i(t)$ du courant circulant dans le circuit en fonction de la tension u_C aux bornes du condensateur et de la capacité C du condensateur.

Q2. Montrer que l'équation différentielle vérifiée par la tension u_C aux bornes du condensateur s'écrit :

$$\frac{du_C}{dt} + \frac{u_C}{\tau} = \frac{E}{\tau} \quad (1)$$

où τ est la constante de temps du circuit que l'on exprimera en fonction de R et de C .

Q3. Vérifier par analyse dimensionnelle que l'unité de τ est la seconde.

Q4. Donner, en justifiant, la valeur de $u_C(t = 0^-)$ juste avant la fermeture de l'interrupteur K et la valeur de $u_C(t = 0^+)$ juste après la fermeture de l'interrupteur K .

Q5. Résoudre l'équation différentielle (1) ci-dessus, en tenant compte de la condition initiale.

Q6. Déterminer de deux façons différentes la valeur de la constante de temps τ .

Q7. Indiquer, en justifiant, si le circuit électrique réalisé modélise correctement le circuit de la puce électronique d'une carte bancaire utilisée lors d'un paiement sans contact.

Partie II - Étude optique de l'œil

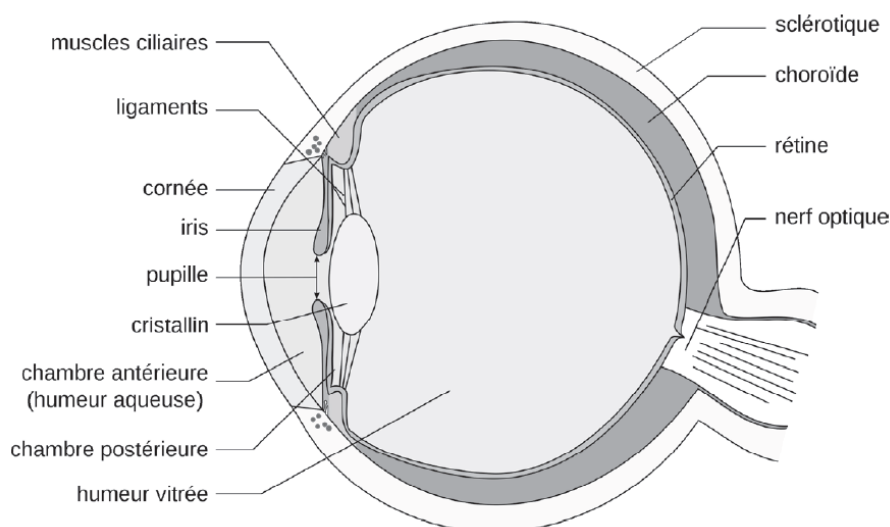


FIGURE 2 – Représentation simplifiée de l'œil

L'œil est l'organe de la vision. Il capte la lumière et transforme celle-ci en signaux électriques transmis au cerveau via le nerf optique. La cornée est la membrane transparente par laquelle la lumière entre dans l'œil. Ce dernier est de forme approximativement sphérique avec un diamètre typique d'environ 25 mm. Il est maintenu dans la cavité orbitaire par un ensemble de muscles qui assure aussi son mouvement.

La figure 2 ci-dessus donne une représentation simplifiée de l'œil.

La forme de la cornée permet la focalisation de la lumière sur la rétine, partie interne photosensible de l'œil. La mise au point s'effectue à l'aide du cristallin qui a la forme d'une lentille biconvexe. Sous l'action des muscles ciliaires, la courbure du cristallin est modifiée, si besoin, de façon à pouvoir former une image nette sur la rétine. Ce processus est appelé accommodation.

Q8. La constitution de l'œil présente des analogies avec celle d'un appareil photographique. Regrouper dans un tableau trois éléments de l'œil et de l'appareil photographique pouvant être mis en correspondance.

Q9. En assimilant l'œil emmétrope (c'est-à-dire sans défaut) au repos à un ensemble {lentille mince-écran} distants de 17 mm, déterminer la valeur correspondante de la vergence de l'œil.

Q10. Comment appelle-t-on le point le plus proche que l'œil peut voir en accommodant ? Ce point est typiquement situé à 25 cm devant l'œil emmétrope. En vous appuyant sur la relation de conjugaison de Descartes, trouver la valeur de la vergence de l'œil dans ce cas de figure.

La myopie est un défaut de vision caractérisé par une perception floue des objets éloignés. L'image de ces derniers se forme en avant de la rétine lorsque l'œil est au repos.

Q11. Un œil myope possède un punctum remotum situé à 2,0 m. Expliquer pourquoi une lentille correctrice doit former d'un objet à l'infini une image située au punctum remotum de l'œil myope. En vous appuyant sur la relation de conjugaison de Descartes, déterminer la vergence de cette lentille correctrice. Faire un schéma montrant la marche de rayons lumineux incidents sur l'ensemble {lentille correctrice - œil}. On représentera l'œil par un ensemble {lentille mince - écran}.

Les cônes sont les cellules photoréceptrices permettant la perception de la couleur. Ils sont concentrés dans la zone centrale de la rétine avec une densité typique de $\sigma = 2,0 \times 10^5$ cellules/mm².

On modélise toujours l'œil par un ensemble {lentille mince - écran} distants de 17 mm.

Le pouvoir séparateur de l'œil est caractérisé par l'angle qui doit séparer deux points à l'infini pour qu'ils soient distingués.

Q12. Donner une estimation, en radian, du pouvoir séparateur de l'œil en supposant que celui-ci est lié à la distance entre deux cônes voisins. Vous vous appuyerez sur un schéma.

La lumière est diffractée lorsqu'elle passe à travers la pupille. L'image d'un point objet à l'infini correspond alors à une tache sur la rétine. Si les points objets sont trop

proches, les taches de diffraction correspondantes se chevauchent. L'œil ne distingue alors pas ces objets. Deux points objets sont résolus si leur écart angulaire est plus grand que le demi-angle d'ouverture θ associé à la diffraction.

Q13. Rappeler la relation entre le demi-angle d'ouverture θ , la longueur d'onde λ de l'onde diffractée et la taille caractéristique de l'obstacle d . Si l'on tient compte du diamètre de la pupille (dont vous estimerez la valeur), peut-on conclure que le pouvoir séparateur est déterminé par la diffraction ?

Données :

▷ vergence d'une lentille mince convergente : $V = \frac{1}{f'}$, où la distance focale f' est exprimée en mètre (m) et la vergence en dioptrie ($1 \text{ d} = 1 \text{ m}^{-1}$);

▷ relation de conjugaison de Descartes : $\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{f'}$.

Partie III - Filtre déphaseur

On considère deux signaux électriques sinusoïdaux notés $s_e(t)$ et $s_s(t)$.

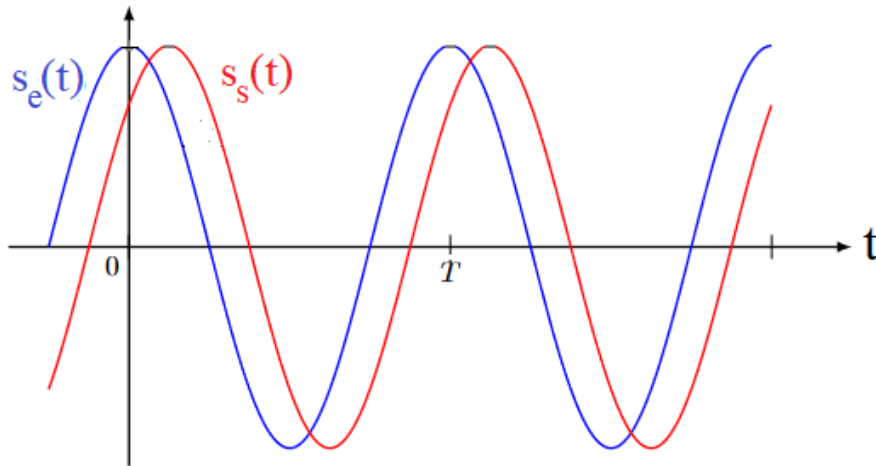


FIGURE 3 – Représentation graphique des deux signaux

Q14. Nommer une grandeur physique qui pourrait être associée à ces signaux (en ordonnée sur leur représentation graphique) et donner son unité.

Q15. Justifier que les signaux $s_s(t)$ et $s_e(t)$ sont périodiques. Définir la période T d'un signal périodique.

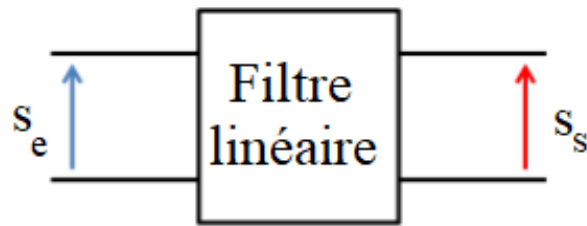
Q16. Donner les expressions mathématiques des signaux $s_e(t)$ et $s_s(t)$ en fonction de leur amplitude A , leur période T et leur phase à l'origine, notée respectivement ϕ_e et ϕ_s .

Q17. Déterminer si le signal $s_s(t)$ est en avance ou en retard de phase par rapport au signal $s_e(t)$.

Q18. Exprimer le déphasage $\Delta\phi$ du signal $s_s(t)$ par rapport au signal $s_e(t)$ en fonction de leurs phases à l'origine ϕ_s et ϕ_e .

Q19. Rappeler l'expression du déphasage $\Delta\phi$ en fonction du retard temporel algébrique Δt du signal $s_s(t)$ par rapport au signal $s_e(t)$, et de la période T . Calculer ce déphasage en radian (rad), puis en degré ($^\circ$). Le raisonnement s'appuyera sur la figure 3 reproduite en annexe, à rendre avec la copie.

En électronique, un filtre linéaire est un quadripôle qui transforme un signal sinusoïdal d'entrée $s_e(t)$ en un signal sinusoïdal de sortie $s_s(t)$, de même fréquence, mais pas forcément de même amplitude ni de même phase à l'origine que le signal d'entrée.



Un filtre linéaire déphaseur ne modifie pas l'amplitude d'un signal, mais modifie sa phase à l'origine.

Q20. Justifier qu'en principe, un filtre déphaseur permet d'obtenir le signal $s_s(t)$ à partir du signal $s_e(t)$.

Le diagramme de Bode en phase d'un filtre linéaire est une représentation graphique du déphasage $\Delta\phi$ que ce filtre occasionne, en fonction de la pulsation ω du signal d'entrée $s_e(t)$.

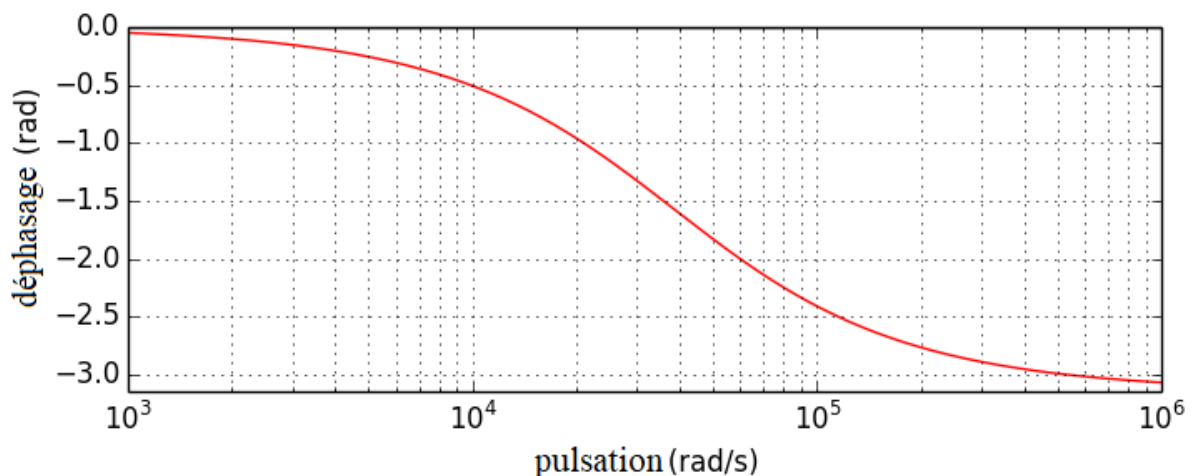


FIGURE 4 – Diagramme de Bode en phase du filtre déphaseur utilisé pour obtenir le signal $s_s(t)$ à partir du signal $s_e(t)$

Q21. En vous appuyant notamment sur le diagramme de Bode en phase donné figure 4 et reproduit en annexe (à rendre avec la copie), déterminer la valeur de la pulsation ω du signal $s_e(t)$. En déduire les valeurs de sa fréquence f puis de sa période T .

Q22. En vous appuyant sur le diagramme de Bode en phase donné figure 4 et reproduit en annexe (à rendre avec la copie), déterminer la valeur de la pulsation ω du signal $s_e(t)$ qui permettrait d'obtenir des signaux $s_s(t)$ et $s_e(t)$ en quadrature de phase. Représenter s_e et s_s sur un même graphique en fonction de la variable temps t dans cette configuration particulière.

Partie IV - Propagation guidée de la lumière

Découvertes au 17^e siècle, les lois de Snell-Descartes décrivent le comportement des rayons lumineux lorsqu'ils rencontrent une interface (un dioptre) entre deux milieux transparents.

On observe alors les phénomènes de réfraction et de réflexion.

Ces deux phénomènes peuvent être exploités pour guider la propagation de la lumière.

Q23. Décrire les phénomènes de réflexion et de réfraction. Vous vous appuyerez sur un schéma légendé faisant apparaître du vocabulaire et des notations utiles.

Q24. Un rayon lumineux atteint un dioptre entre un milieu d'indice optique n_2 et un milieu d'indice optique n_1 . Décrire le phénomène de réflexion totale, préciser qualitativement les deux conditions nécessaires pour l'observer puis établir que l'expression de l'angle d'incidence critique i_C en fonction de n_2 et n_1 est

$$i_C = \arcsin\left(\frac{n_1}{n_2}\right),$$

où arcsin désigne la fonction arcsinus, fonction réciproque de la fonction sinus.

Dans la suite, on s'intéressera à un dispositif permettant de guider la propagation de la lumière : une fibre optique à saut d'indice constituée d'une âme d'indice n_2 et d'une gaine d'indice $n_1 < n_2$.

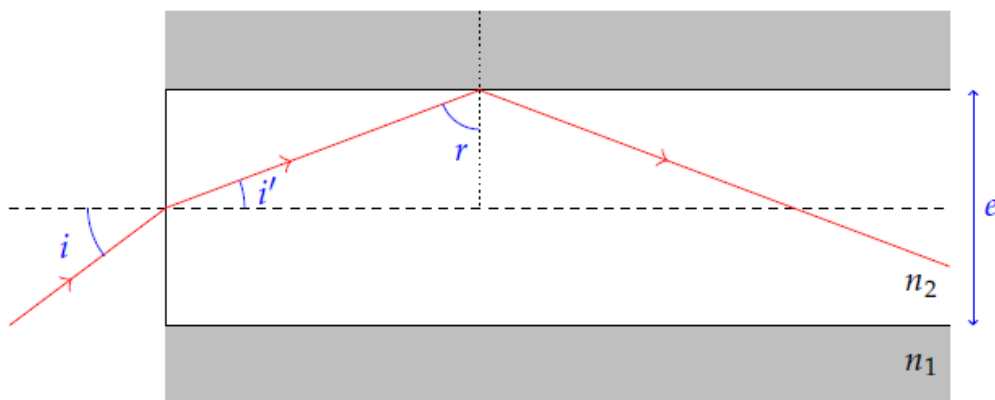


FIGURE 5 – Vue en coupe de la fibre optique à saut d'indice, dans un plan contenant son axe de révolution

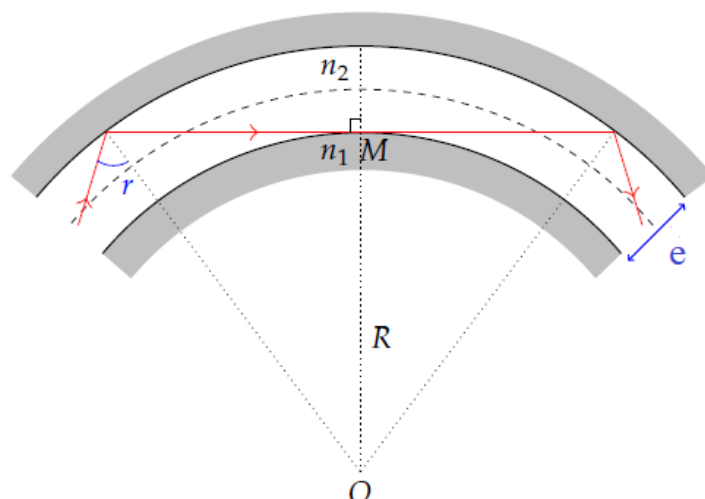
Un rayon lumineux se propageant initialement dans l'air d'indice $n_{\text{air}} = 1$ pénètre dans la fibre optique en faisant un angle i avec l'horizontale. Il est ensuite réfracté dans l'âme. On souhaite que le rayon soit ensuite réfléchi totalement à l'interface âme-gaine.

Q25. À quelle condition sur l'angle r , en fonction de n_1 et n_2 , est-il possible d'observer la réflexion totale à l'interface âme-gaine ? En déduire à quelle condition sur l'angle i on peut observer la réflexion totale à l'interface âme-gaine.

Q26. En pratique, les fibres optiques restent rarement droites et sont parfois courbées. Pour un même angle d'entrée i dans la fibre, expliquer qualitativement comment

évolue l'angle r lorsque la fibre est courbée. Observera-t-on toujours la réflexion totale lorsque la fibre est courbée ?

On se place dans le cas où la fibre est suffisamment courbée pour qu'à la limite de la réflexion totale sur l'interface âme-gaine, le faisceau soit tangent à l'interface âme-gaine au point M (voir schéma ci-dessous). L'interface âme-gaine intérieure décrit alors un arc de cercle de rayon R ($OM = R$).



Q27. Établir, par un raisonnement géométrique, la relation entre e et R dans ce cas.

Partie V - Étude cristallographique du nickel

L'élément nickel, de symbole Ni, a pour numéro atomique $Z = 28$ et pour masse molaire $M_{\text{Ni}} = 58,7 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Le nickel appartient à la famille des métaux.

Le métal nickel cristallise dans le système cubique à faces centrées (CFC), de paramètre de maille a .

Q28. À quelle famille de cristaux le nickel appartient-il ? Rappeler ses principales particularités physiques, et l'ordre de grandeur de l'énergie molaire de liaison.

Q29. Représenter une maille élémentaire du cristal en faisant apparaître les centres des atomes au sein de la maille.

Q30. Déterminer le nombre d'atomes par maille.

Q31. Préciser avec soin la condition de tangence des atomes dans la maille. En déduire la relation entre le paramètre de maille a et le rayon atomique R_{Ni} .

Le paramètre de maille est déterminé grâce à la technique appelée diffraction des rayons X par le réseau cristallin. On considère deux rayons parallèles issus d'une même source monochromatique de longueur d'onde λ . Ils se réfléchissent sur deux plans atomiques successifs, en faisant un angle θ avec le plan supérieur. Le premier rayon se réfléchit sur le plan supérieur, le second rayon se réfléchit sur le plan suivant (voir figure 6 ci-dessous). Les rayons émergents peuvent interférer à l'infini.

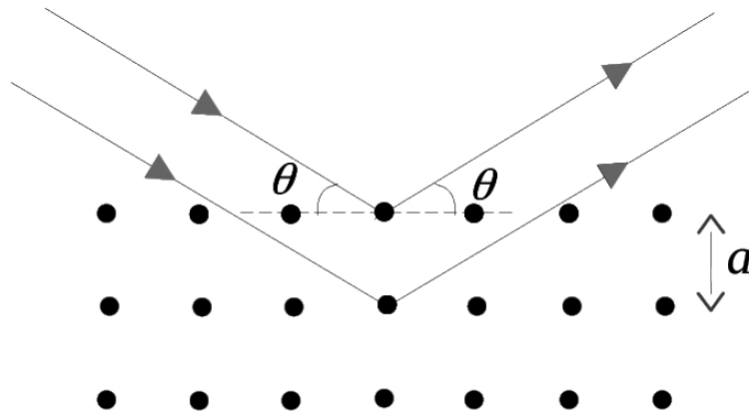


FIGURE 6 – Illustration de la technique de diffraction par rayons X

Les résultats obtenus pour des interférences dans le domaine optique sont valables pour cette expérience. On note s_1 et s_2 les ondes scalaires associées à chaque rayon. Pour un point M quelconque de l'espace dans la zone d'interférences, on pose :

$$s_1(M, t) = A_0 \cos(\omega t + \phi_1(M))$$

et

$$s_2(M, t) = A_0 \cos(\omega t + \phi_2(M)).$$

Q32. Exprimer la différence de marche δ entre les deux rayons renvoyés dans la direction symétrique θ , en fonction de la distance d définie sur la figure 10 en annexe, à rendre avec la copie. En déduire l'expression de la différence de marche δ en fonction de a et de θ .

Q33. Rappeler la condition portant sur le déphasage $\Delta\phi(M) = \phi_2(M) - \phi_1(M)$ pour observer des interférences constructives entre les deux ondes sinusoïdales s_1 et s_2 . Rappeler la condition portant sur la différence de marche δ et la longueur d'onde λ pour observer des interférences constructives entre ces deux ondes. En déduire l'expression de $\Delta\phi(M) = \phi_2(M) - \phi_1(M)$ en fonction de δ et de la longueur d'onde λ .

On admet que l'expression de l'intensité lumineuse $I(\theta)$ résultant de l'interférence de ces deux ondes est

$$I(\theta) = 2A_0 \left(1 + \cos \left(4\pi \frac{a \sin(\theta)}{\lambda} \right) \right).$$

Q34. En déduire les valeurs de $\sin(\theta)$ pour lesquelles on observe une intensité maximale. Justifier que l'on peut déduire des mesures de l'angle θ la valeur du paramètre de maille a .

Q35. Proposer, en s'appuyant sur un schéma clair, un montage d'optique géométrique simple permettant d'observer la figure d'interférences sur un écran. On précisera en particulier le type de lentille(s) éventuellement utilisée(s) et on justifiera la position relative de chaque élément.

Q36. Comment s'appelle l'appareil utilisé en travaux pratiques d'optique qui sert à mesurer des angles ?

Compte tenu de l'ordre de grandeur du paramètre de maille a , on utilise des rayons X de longueur d'onde $\lambda = 0,171 \text{ nm}$.

Q37. On observe un premier maximum de lumière dans la direction $\theta_1 = 14,0^\circ$. Calculer le paramètre de maille a . Déduire de ces mesures le rayon R_{Ni} .

La masse volumique du nickel vaut $\rho_{\text{Ni}} = 8,90 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$.

Q38. Retrouver la valeur du paramètre de maille a et le comparer à la valeur obtenue par mesure optique.

Donnée :

▷ Constante d'Avogadro : $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

FIN

Annexe

Pour la partie I :

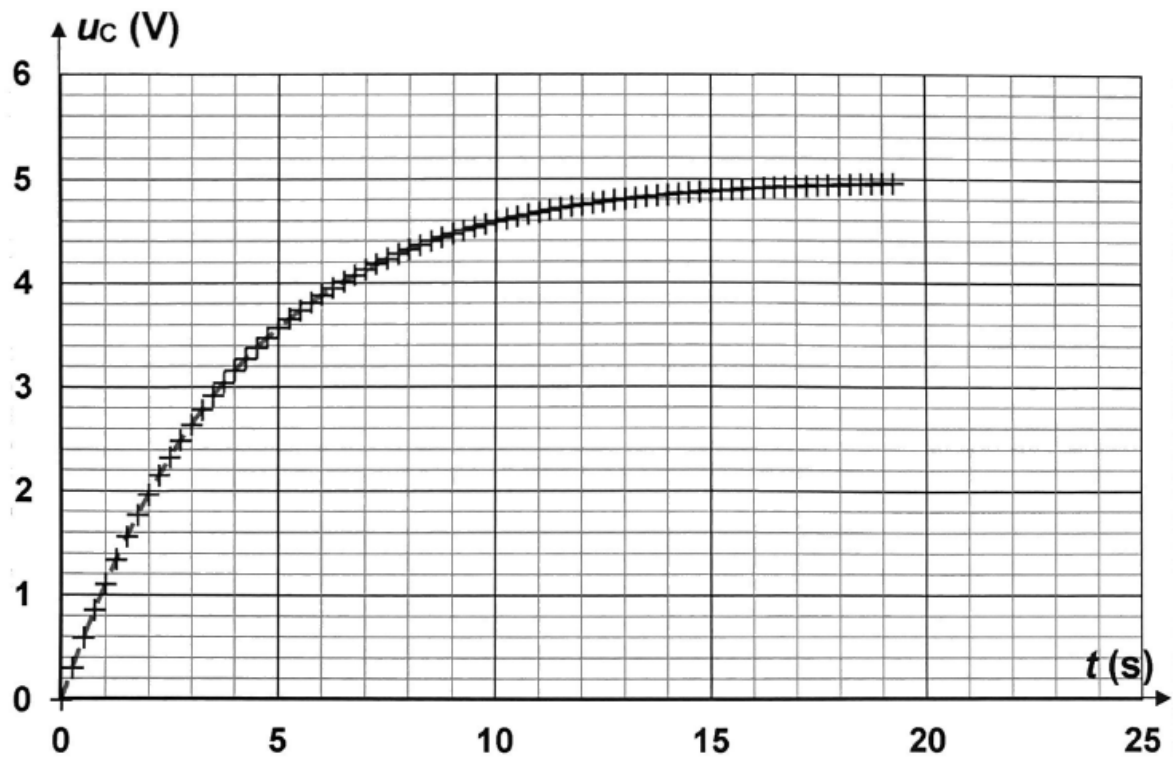


FIGURE 7 – Évolution de la tension u_C aux bornes du condensateur en fonction du temps - Courbe expérimentale obtenue au laboratoire

Pour la partie III :

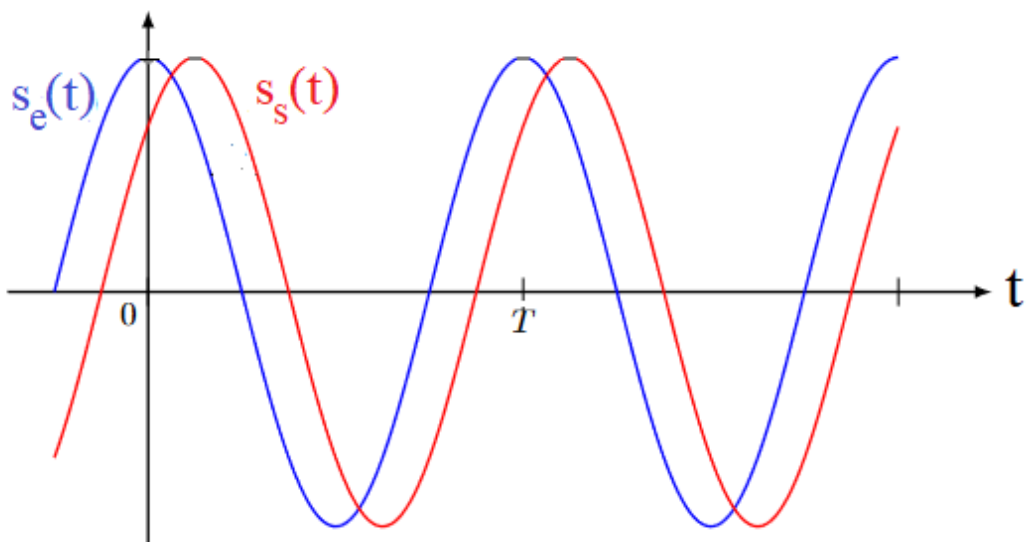


FIGURE 8 – Représentation graphique des deux signaux

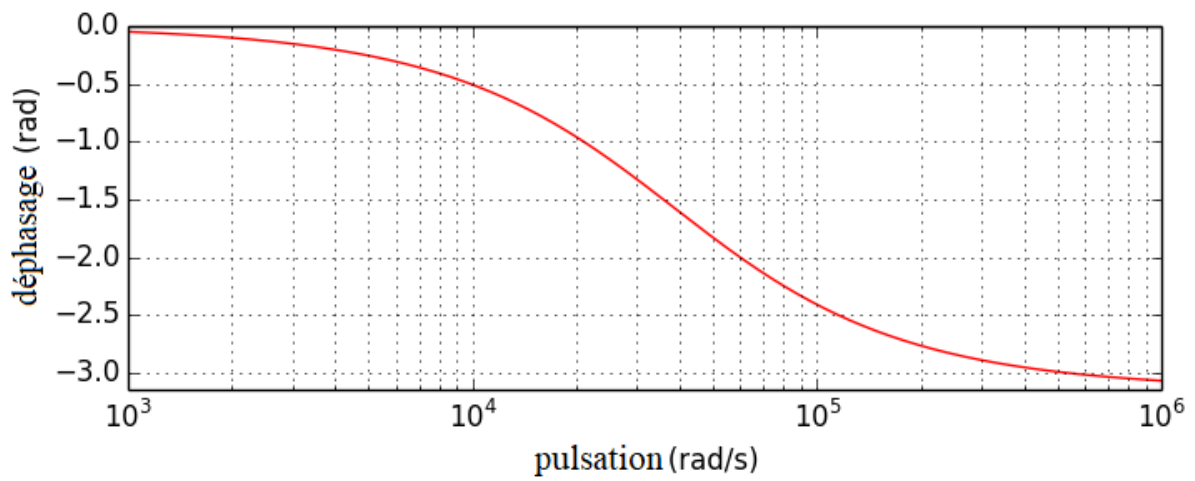


FIGURE 9 – Diagramme de Bode en phase du filtre déphaseur utilisé pour obtenir le signal $s_s(t)$ à partir du signal $s_e(t)$

Pour la partie V :

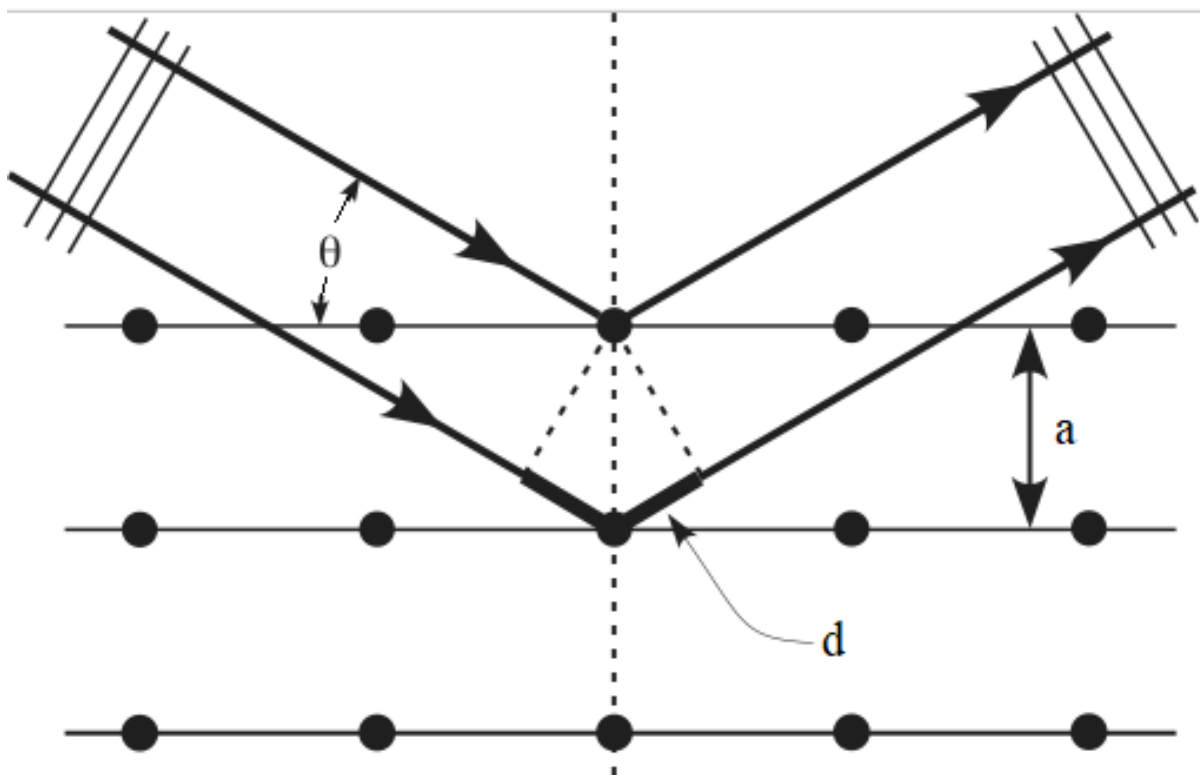


FIGURE 10 – Schéma pour l'expression de la différence de marche