

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

Session 2024

PHYSIQUE-CHIMIE

Jour 1

Durée de l'épreuve : **3 heures 30**

Matériel autorisé

L'usage de la calculatrice avec le mode examen activé est autorisé.
L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collègue », est autorisé.

Dès que le sujet est remis, assurez- vous qu'il est complet.
Ce sujet comporte 14 pages numérotées de 1/14 à 14/14

Le candidat traite l'intégralité du sujet, qui se compose de **3 exercices.**

ATTENTION : l'annexe (page 7/14) est à rendre avec la copie.

Problème A : Étude de l'observation des oiseaux (10 points)

Certains parcs ornithologiques proposent des sorties mêlant observations des oiseaux, suivies d'analyse d'échantillons récoltés comme par exemple des plumes.

Cet exercice s'intéresse dans un premier temps à l'observation d'une oie cendrée à l'œil nu et à l'aide d'une longue-vue. Puis, dans un second temps, le phénomène d'interférences lumineuses est utilisé pour déterminer des dimensions caractéristiques de la structure d'une plume d'oie.



Oie cendrée

Données :

- Taille approximative d'une oie cendrée : 80 cm ;
- Taille approximative du bec d'une oie cendrée : 7 cm ;
- Distance focale de l'objectif L_1 de la longue-vue : $f_1' = 450$ mm ;
- Distance focale de l'oculaire L_2 de la longue-vue : $f_2' = 30$ mm ;
- Relation de conjugaison pour une lentille L de centre optique O : $\frac{1}{OA'} = \frac{1}{OA} + \frac{1}{f'}$ où $\overline{OA'}$ est la distance algébrique entre le centre optique de la lentille L et le point A' , $\overline{OA}$ est la distance algébrique entre le centre optique de la lentille L et le point A et f' est la distance focale de la lentille ;
- Grandissement transversal $\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$ où $\overline{A'B'}$ est la taille algébrique de l'image $A'B'$ et $\overline{AB}$ est celle de l'objet AB ;
- Approximation dans le cas de petits angles ($\theta \ll 1$ rad) : $\sin \theta = \theta$; $\tan \theta = \theta$.

1. Observation d'une oie cendrée à l'œil nu

L'œil est un système complexe que l'on peut modéliser par l'association (**figure 1**) :

- d'une lentille mince convergente L , d'axe optique Δ , de distance focale $f' = \overline{OF'} = 17$ mm, de centre optique O ;
- d'un écran situé à une distance $D = 17$ mm du centre optique O .

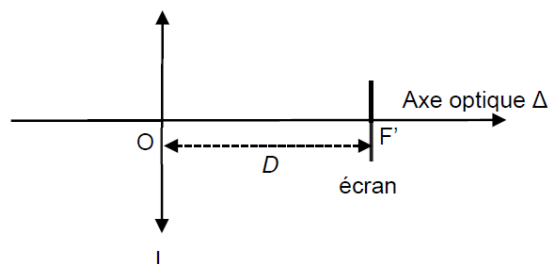


Figure 1. Schéma simplifié du modèle de l'œil

La rétine est une membrane qui tapisse le fond de l'œil et qui joue le rôle d'écran. L'oie cendrée est modélisée par un objet de hauteur AB perpendiculaire à l'axe optique en A et situé à 280 m du centre optique O . L'image de AB à travers la lentille L est notée $A'B'$.

Q1. Justifier que la position de l'image $A'B'$ de l'oie par la lentille L est telle que $\overline{OA'} = 17$ mm.

Q2. Vérifier que la taille de l'image $A'B'$ de l'oie sur la rétine de l'observateur est voisine de 49 μm . Sachant que la rétine est assimilée à un disque de rayon égal à 6 mm centré en F' , préciser si l'oie est vue en entier par un observateur.

Le pouvoir séparateur de l'œil humain est l'angle limite, noté α_m , sous lequel un objet peut être vu distinctement par l'œil (voir figure 2) ; sa valeur est de 3×10^{-4} rad.

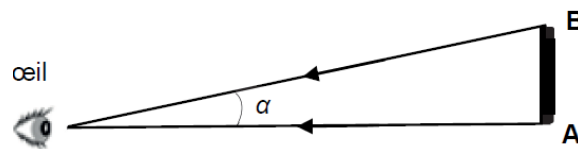


Figure 2. L'objet AB est vu sous un angle α par l'œil. Il peut être distinctement vu par l'œil si $\alpha > \alpha_m$

Q3. Déterminer la distance minimale séparant deux points A et B d'un objet pouvant être vus lorsqu'ils sont situés à une distance de 280 m de l'œil. En déduire si l'oie peut être vue distinctement par l'observateur à l'œil nu puis déterminer si le bec de l'oie peut être observé distinctement.

2. Observation avec une longue-vue assimilée à une lunette astronomique afocale

L'oie est désormais observée à l'aide d'une longue-vue assimilée à une lunette astronomique afocale. Cette lunette est composée d'une lentille L_1 de distance focale f_1' jouant le rôle de l'objectif et d'une lentille L_2 de distance focale f_2' jouant le rôle de l'oculaire. On considère que l'oie, modélisée par un objet AB perpendiculaire à l'axe optique en A, est « à l'infini ». L'image de AB à travers la lentille L_1 est notée A_1B_1 . L'image de A_1B_1 à travers la lentille L_2 est notée A_2B_2 .

Q4. Compléter la figure A1 de l'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE** pour représenter l'image A_1B_1 formée par la lentille L_1 d'un objet AB (représentant l'oie) situé à l'infini.

Q5. Placer, en justifiant, le foyer objet F_2 de la lentille L_2 sur la figure A1 de l'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**.

Une lunette astronomique est caractérisée par son grossissement d'expression :

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha}$$

avec α l'angle sous lequel l'objet AB est vu à l'œil nu et α' l'angle sous lequel l'image A_2B_2 est vue à travers la lunette astronomique afocale.

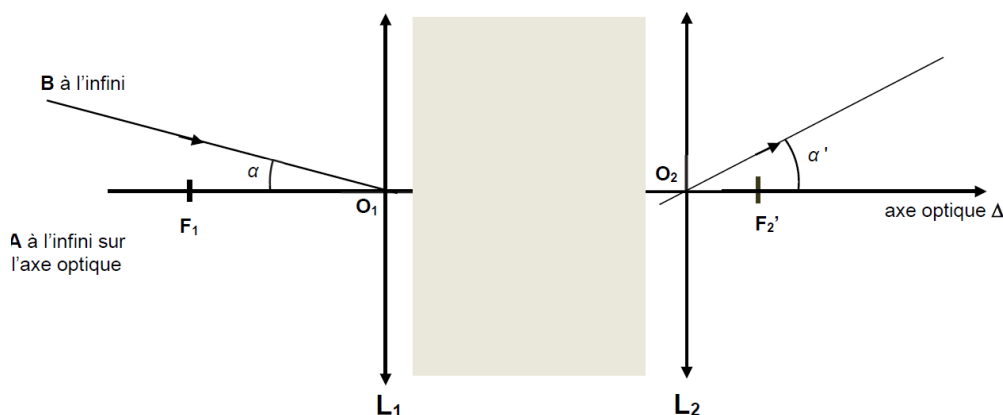


Figure 3. Représentation, sans souci d'échelle, de la lunette astronomique.

Q6. En considérant les angles α et α' exprimés en radians comme petits, montrer que le grossissement de la lunette astronomique afocale peut s'exprimer par la relation :

$$G = \frac{f_1'}{f_2'}$$

On peut s'appuyer sur la figure A1 de l'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**.

Q7. Calculer la valeur du grossissement G de la lunette astronomique afocale.

Q8. Indiquer en justifiant si l'observateur voit distinctement, à travers la longue-vue, le bec de l'oie située à 280 m.

3. Structure de la plume d'une oie cendrée

Pour identifier l'espèce d'un oiseau, la plume est une des parties du corps de l'animal qu'il est possible d'étudier. Les plumes d'oiseaux sont des objets complexes qui possèdent des structures géométriques périodiques à des échelles différentes, qu'il est possible d'étudier par des méthodes interférométriques.

L'expérience des fentes d'Young permet d'obtenir sur un écran une figure d'interférences constituée d'une succession de franges brillantes et sombres qui se répartissent sur un axe de direction parallèle à la droite joignant les deux fentes.

La figure 4 donne une schématisation d'une expérience des fentes d'Young, de centres F_1 et F_2 , ainsi qu'une photographie de la figure d'interférences obtenue.



Plume d'oie

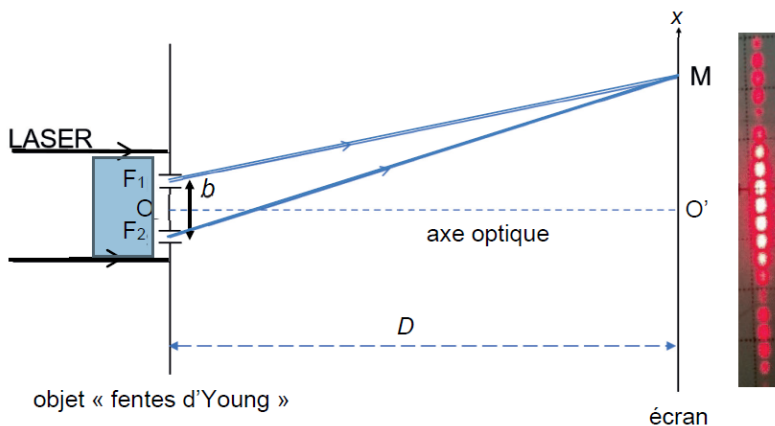


Figure 4. Schéma du dispositif expérimental.

Un faisceau lumineux issu d'un laser de longueur d'onde λ , éclaire un objet plan totalement opaque en dehors de deux fentes, séparées d'une distance notée b . Cet objet est appelé objet « fentes d'Young ».

Le faisceau est constitué d'un ensemble de rayons parallèles, et se propage parallèlement à l'axe optique (OO'), le point O étant à égale distance des points F_1 et F_2 et le point O' étant situé sur l'écran.

Les ondes issues des fentes interfèrent sur l'écran. En un point M de celui-ci, on admet que la différence de chemin optique entre les deux ondes s'écrit $\delta = F_2M - F_1M$ (voir figure 4).

L'écran est situé à une distance D des fentes très grande devant la distance b ($D \gg b$).

Dans l'approximation des petits angles ($\theta \ll 1 \text{ rad}$) : $\sin \theta = \theta$; $\tan \theta = \theta$.

Q9. Préciser la condition que doit vérifier la différence de chemin optique δ pour que les ondes issues des fentes interfèrent de manière constructive au point M . Indiquer en justifiant dans ce cas si la frange au point O' est brillante ou sombre.

Sur la figure 5, le point H représente le projeté orthogonal de F_1 sur le segment $[F_2M]$. On admet que la différence de chemin optique δ est égale à la longueur du segment $[F_2H]$.

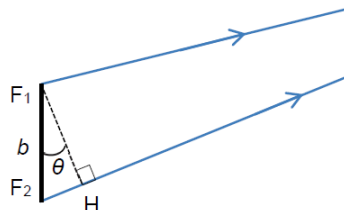


Figure 5. Agrandissement du schéma au niveau des fentes d'Young

Q10. Montrer que, dans les conditions de l'expérience ($\theta \ll 1 \text{ rad}$), il est possible d'exprimer la différence de chemin optique par la relation suivante :

$$\delta = b \cdot \theta.$$

On montre, avec une très bonne approximation, que l'angle θ est égal à l'angle $O'OM$ dans le triangle rectangle $O'OM$ représenté sur la figure 6. L'abscisse du point M sur l'axe $O'x$ est notée x .

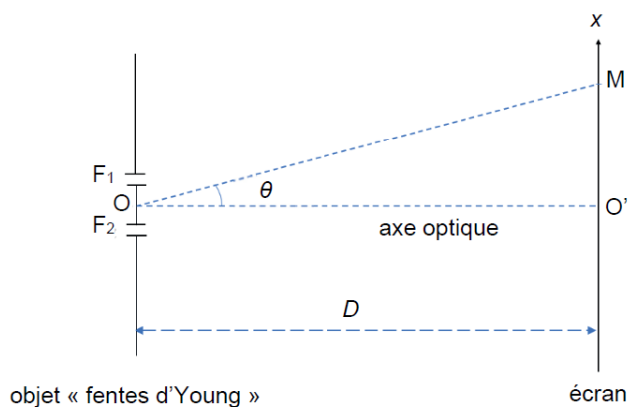


Figure 6. Mise en évidence de l'angle θ dans le triangle $O'OM$

Q11. Après avoir exprimé l'angle θ en fonction de D et x , montrer que la différence de chemin optique δ a pour expression :

$$\delta = \frac{b \cdot x}{D}.$$

Q12. En déduire l'expression des abscisses x_k des franges brillantes, en fonction de λ , D , b et d'un entier relatif k .

Q13. Montrer que l'interfrange i est donnée par l'expression littérale suivante :

$$i = \frac{\lambda \cdot D}{b}.$$

La figure 7 montre qu'une plume d'oie est composée d'un ensemble de barbes (tiges) fixées sur le rachis (axe principal de la plume d'oie). Les barbes supportent des éléments plus petits et fins, invisibles à l'oeil nu, appelés barbules. Les barbes sont régulièrement espacées d'une distance notée b_{barbe} , les barbules sont également régulièrement espacées d'une distance notée b_{barbule} (voir figure 7) et sont dans une direction pratiquement perpendiculaire à celle des barbes. Les barbules sont plus resserrées que les barbes, on a donc $b_{\text{barbule}} < b_{\text{barbe}}$.

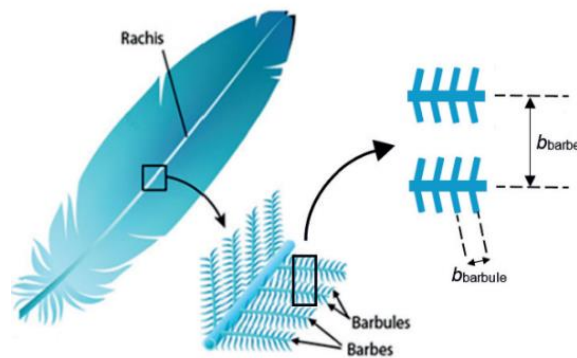


Figure 7. Schéma simplifié d'une plume (d'après <https://askabiologist.asu.edu>)

On réalise la même expérience que celle décrite dans la figure 4 en remplaçant l'objet « fentes d'Young » par une plume d'oie, éclairée avec un laser dont la longueur d'onde est $\lambda = 650 \text{ nm}$. L'écran est placé à une distance $D = 74 \text{ cm}$ de la plume. On obtient alors une figure d'interférences dont la photographie (en négatif) est donnée sur figure A2 de l'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**.

L'écran est rapporté à un repère d'origine O' et d'axes $O'x$ et $O'y$ orthogonaux.

Dans un modèle très simplifié, il est possible de montrer que les interférences sont constructives uniquement en des points de coordonnées (x_k, y_ℓ) , vérifiant les relations :

$$x_k = k \cdot \frac{\lambda \cdot D}{b_{\text{barbe}}} \quad \text{et} \quad y_\ell = \ell \cdot \frac{\lambda \cdot D}{b_{\text{barbule}}} \quad \text{où } k \text{ et } \ell \text{ sont des entiers relatifs.}$$

Le modèle prévoit que seulement certains de ces points sont lumineux du fait de détails de la géométrie des plumes auxquels on ne s'intéresse pas ici.

Q14. Montrer que le modèle simplifié permet d'expliquer certaines caractéristiques de la figure d'interférences observée sur la figure A2 de l'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**. Dans les cases vides de cette figure, identifier, en justifiant, l'axe $O'x$ puis l'axe $O'y$.

Q15. En exploitant la figure A2 de l'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**, évaluer les valeurs des interférences i_1 et i_2 puis en déduire les valeurs des espacements b_{barbule} et b_{barbe} .

ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

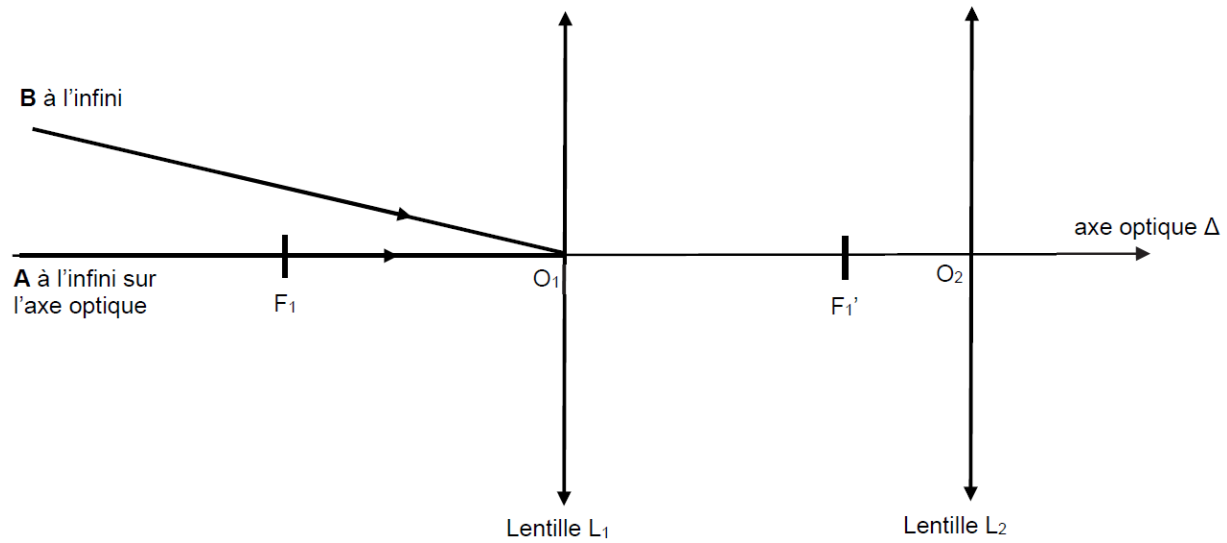


Figure A1. Schéma de la longue-vue (représentée sans souci d'échelle) assimilée à une lunette astronomique afocale

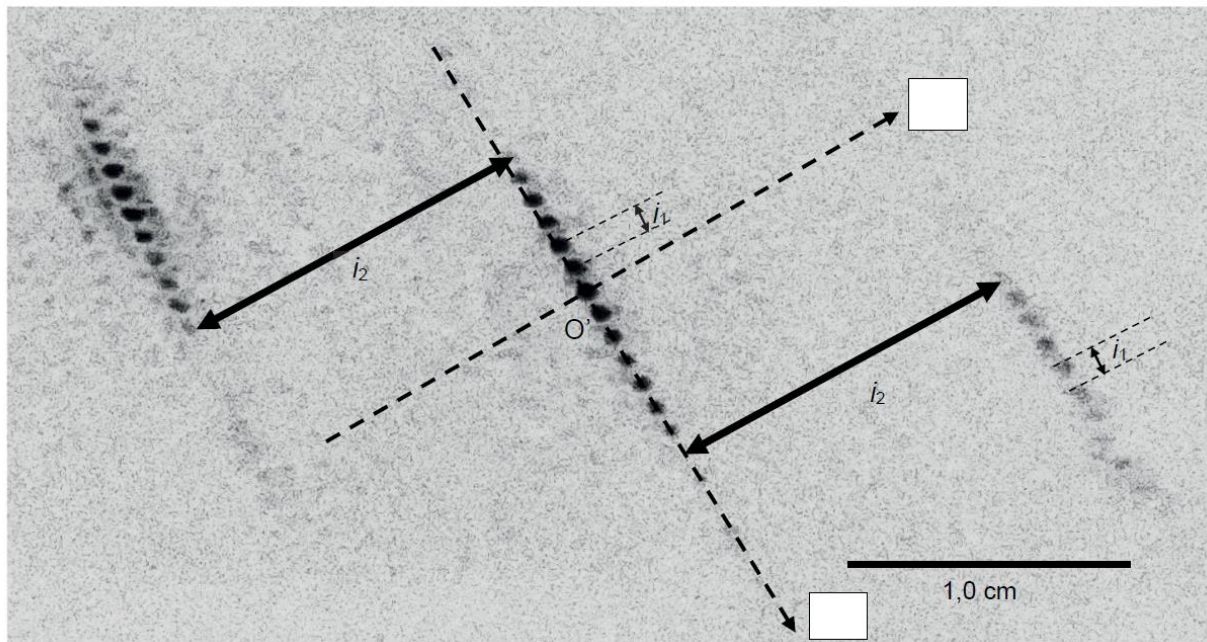


Figure A2. Figure d'interférences obtenue avec la plume d'oie

Il s'agit d'une photographie en négatif : les points sombres sur la photographie correspondent à des points brillants dans la réalité.

Problème B : Effet Doppler (5 points)

La mesure de vitesse intervient dans un très grand nombre de procédés technologiques dans des domaines très variés : industrie, médecine, sport, transport, aérospatiale, ...

Les dispositifs de mesure de vitesse sont généralement appelés cinémomètres. Les cinémomètres les plus courants peuvent être classés en deux catégories : les « cinémomètres Doppler » et les « cinémomètres laser ».

Cet exercice s'intéresse à certains aspects du fonctionnement et de l'utilisation de ces deux types d'appareils pour mesurer la valeur de la vitesse d'une « cible » dont la nature dépend du domaine d'application.

1. Cinémomètre Doppler

Ce type d'appareil utilise une onde électromagnétique monochromatique. Il comprend essentiellement : un émetteur qui génère une onde de fréquence $f_0 = 24,125$ GHz, un récepteur qui reçoit cette onde après réflexion sur la " cible " et une chaîne de traitement électronique qui compare le signal émis et le signal reçu.

Si la " cible " visée a une vitesse non nulle par rapport au cinémomètre, l'appareil produit un signal périodique dont la fréquence, appelée « *fréquence Doppler* », est proportionnelle à la vitesse de la " cible ".

Données :

- Relation, en première approximation, entre la « fréquence Doppler » et la vitesse de la " cible " :

$$f_D = \frac{2 \cdot f_0 \cdot v_r}{c}$$

f_D :	fréquence Doppler
f_0 :	fréquence de l'émetteur
v_r :	vitesse relative à la "cible" par rapport à l'émetteur
c :	vitesse de la lumière dans le vide

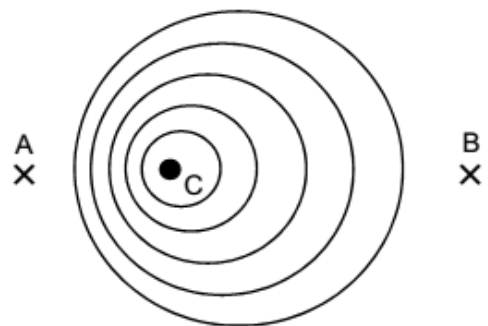
- Célérité des ondes électromagnétiques dans le vide ou dans l'air :
 $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

1.1. Les cinémomètres Doppler utilisent l'effet Doppler. Expliquer en quelques lignes en quoi consiste ce phénomène.

Un cinémomètre Doppler immobile est utilisé pour mesurer la vitesse d'une " cible " qui s'approche de lui. Les ondes électromagnétiques émises sont réfléchies par la " cible " avant de revenir au cinémomètre.

1.2. La figure ci-contre modélise de manière très simplifiée l'allure des ondes réfléchies par cette " cible ", notée C.

Déterminer, en explicitant le raisonnement suivi, si le cinémomètre Doppler est situé au point A ou au point B.



1.3. Un cinémomètre Doppler est utilisé pour mesurer la vitesse des balles de tennis lors des principaux tournois internationaux comme celui de Roland Garros. Au cours de ce tournoi, lors d'un service, l'appareil mesure une fréquence Doppler de valeur $f_D = 7416 \text{ Hz}$.

1.3.1. Calculer la valeur de la vitesse de cette balle.

1.3.2. Ce résultat est-il cohérent avec celui affiché sur la photographie ci-dessous prise lors de ce service ?



2. Cinémomètre laser

Le principe de la mesure de vitesse grâce à cet instrument est basé sur une mesure de la distance séparant la "cible" du cinémomètre laser. On mesure le temps mis par une impulsion laser pour atteindre la "cible" visée et revenir au cinémomètre après réflexion. Un compteur électronique de temps est déclenché lorsque l'impulsion est émise par le laser et arrêté lorsque l'impulsion « retour » est détectée. Connaissant la durée d'un aller-retour ainsi que la vitesse de la lumière, on en déduit la distance laser-cible. Pour connaître la vitesse de la "cible", il suffit de répéter le processus de mesure de distance à des intervalles de temps fixes.

Données :

- Valeur de la longueur d'onde de l'onde électromagnétique utilisée par un cinémomètre laser :
 $\lambda = 904 \text{ nm}$
- Durée entre l'émission de deux impulsions laser consécutives :
 $T = 100 \mu\text{s}$
- Exploitation d'une série de mesures d'une grandeur X :
Pour une série de mesures pour lesquelles on suppose les conditions de répétabilité vérifiées, on admet que :
 - la meilleure estimation de la valeur x de la grandeur X est égale à la moyenne $\bar{x}$ des N valeurs mesurées ;
 - la meilleure estimation de l'incertitude de mesure de la grandeur X , avec un niveau de confiance de 95% s'écrit :

$$U_x = 2 \times \frac{s_{n-1}}{\sqrt{N}}$$

N : nombre de valeurs disponibles
 s_{n-1} : écart-type expérimental tel que :
 $s_{n-1} = \sqrt{\frac{1}{(N-1)} \times \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$

2.1 Expliquer le principe physique de l'émission spontanée d'un photon par un atome excité.

Quelle est la relation entre la longueur d'onde du photon émis et l'énergie de l'atome ?

2.2. À quel domaine spectral appartient l'onde électromagnétique utilisée dans le radar laser étudié ?

2.3. Dans un processus de production industrielle, un cinémomètre laser en cours de réglage a effectué très rapidement une série de 10 mesures à intervalle de temps fixe. On obtient les résultats suivants :

Mesure n°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$v \text{ (m.s}^{-1}\text{)}$	3,4	3,8	3,9	3,7	3,6	3,7	3,5	3,8	3,7	3,6

2.3.1. Évaluer le résultat de la mesure en faisant apparaître la valeur de l'incertitude avec un niveau de confiance de 95% et présenter le résultat sous la forme :

$$v = \bar{v} \pm u_v \quad \left| \begin{array}{l} v : \text{vitesse du véhicule (m.s}^{-1}\text{)} \\ \bar{v} : \text{meilleure estimation de la valeur de la vitesse (m.s}^{-1}\text{)} \\ u_v : \text{meilleure estimation de l'incertitude associée à la mesure (m.s}^{-1}\text{)} \end{array} \right.$$

2.3.2. Pour le processus considéré, on souhaite disposer d'une incertitude relative inférieure ou égale à 3%. Cette condition est-elle vérifiée pour le résultat précédent ?

2.4. Afin de déterminer la vitesse d'une "cible", le cinémomètre radar réalise plusieurs mesures de durée de parcours d'impulsions lumineuses.

2.4.1. Pour deux impulsions successives émises par le cinémomètre laser, montrer que la vitesse de la "cible" s'écrit :

$$v = c \cdot \frac{|\tau - \tau'|}{2T} \quad \left| \begin{array}{l} v : \text{vitesse du véhicule cible} \\ c : \text{vitesse de la lumière} \\ T : \text{durée écoulée entre deux impulsions successives} \\ \tau : \text{durée mise par la première impulsion pour parcourir un aller-retour} \\ \tau' : \text{durée mise par la deuxième impulsion pour parcourir un aller-retour} \end{array} \right.$$

2.4.2. Dans le cas étudié à la question 2.3, montrer en raisonnant sur les ordres de grandeur, qu'il est techniquement très difficile de réaliser une mesure de la différence de durées $|\tau - \tau'|$. Expliciter le raisonnement.

Problème C : Eau salée et eau douce (5 points)

Les eaux souterraines du littoral contenues dans les nappes phréatiques sont essentielles tant pour les activités humaines que pour l'environnement, mais les intrusions d'eau de mer dans ces nappes peuvent engendrer des pollutions irréversibles. Ce risque d'intrusion saline augmente en raison d'une exploitation excessive par pompage des eaux souterraines afin de faire face à une population qui ne cesse d'augmenter sur le littoral.

Ainsi, une surveillance de la qualité des eaux souterraines sur la bordure du littoral est nécessaire afin d'éviter ce risque d'intrusion d'eau saline dans la nappe phréatique.

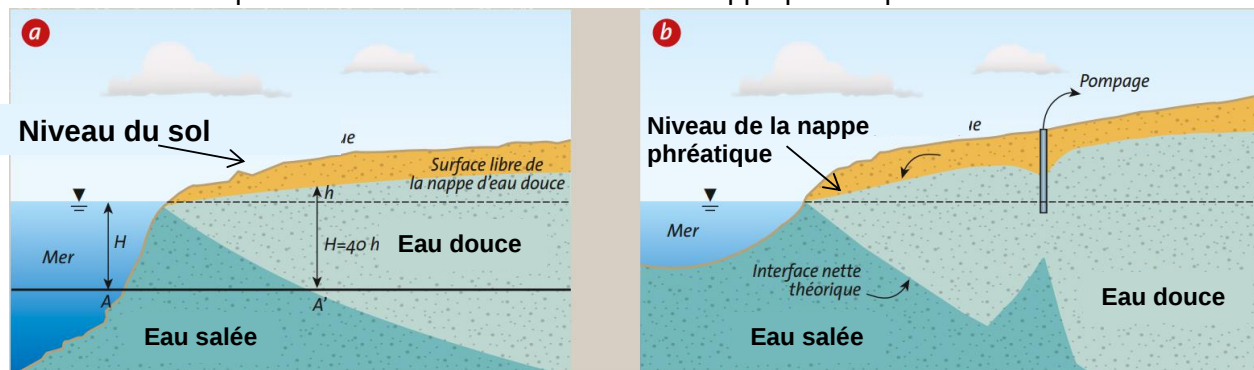


Figure 1 : Lors de l'exploitation d'un forage dans une nappe phréatique côtière, un cône de rabattement se forme au niveau de la surface de la nappe, qui modifie l'interface entre l'eau douce et l'eau salée.

Source : d'après <https://library.ensh.dz>.

L'objectif de cet exercice est de déterminer la concentration en masse en ion chlorure d'un prélèvement d'eau afin de prévenir une éventuelle intrusion d'eau marine dans la nappe souterraine.

A. L'eau salée de la mer Méditerranée

Des classes de concentrations peuvent être définies en fonction des teneurs en ions chlorure :

Concentration en masse d'ions chlorure (mg.L ⁻¹)	Inférieure à 50	Entre 50 et 200	Entre 200 et 500	Supérieure à 500
Observations	Absence de contamination	Concentration dite « naturelle », l'eau est potable	L'eau ne peut pas être utilisée pour la production d'eau potable. Sauf cas exceptionnel, de telles concentrations ne sont pas naturelles	Importante contamination de l'ouvrage par les ions chlorure

A.1. Citer la valeur de la concentration minimale en masse c_m en ion chlorure $\text{Cl}^-_{(\text{aq})}$ à partir de laquelle on peut considérer que l'eau souterraine est contaminée par une intrusion d'eau de mer la rendant non potable.

A.2.**Données :**Masses molaires atomiques (en g.mol⁻¹)

$\text{Cl}^-_{(\text{aq})}$	$\text{Na}^+_{(\text{aq})}$	$\text{Mg}^{2+}_{(\text{aq})}$
35,5	23,0	24,3

Nous allons, dans un premier temps, déterminer la concentration en masse en ion chlorure de l'eau de la mer Méditerranée. La présence des ions chlorure Cl^- est principalement due à la dissolution du chlorure de sodium $\text{NaCl}_{(\text{s})}$ dans l'eau mais le chlorure de magnésium participe aussi à la salinité de l'eau de mer.

L'équation de la réaction modélisant la dissolution du chlorure de magnésium $\text{MgCl}_{2(\text{s})}$ dans l'eau est : $\text{MgCl}_{2(\text{s})} \rightarrow \text{Mg}^{2+}_{(\text{aq})} + 2 \text{Cl}^-_{(\text{aq})}$

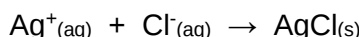
- A.2.1.** Sachant que la concentration en quantité de matière de chlorure de magnésium $\text{MgCl}_{2(\text{s})}$ dans l'eau de mer vaut $c = 4,0 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$, déterminer la concentration en quantité de matière en ions chlorure $\text{Cl}^-_{(\text{aq})}$ apportés par $\text{MgCl}_{2(\text{s})}$, notée $[\text{Cl}^-_{(\text{aq})}]$.
- A.2.2.** La concentration en masse en ions chlorure $\text{Cl}^-_{(\text{aq})}$ apportés par le chlorure de sodium $\text{NaCl}_{(\text{s})}$ dans l'eau a pour valeur $c_m = 16,5 \text{ g.L}^{-1}$. Déterminer alors la concentration totale en masse en ions chlorure dans la mer Méditerranée.

B. Titrage des ions chlorure de l'eau douce des eaux souterraines

La concentration en masse en ions chlorure de l'eau douce qui se trouve proche de la zone de pompage doit être surveillée. Pour cela, un prélèvement d'eau de 50,0 mL est effectué au niveau du pompage.

On titre ensuite les ions chlorure de cette solution d'eau par une solution de nitrate d'argent ($\text{Ag}^+_{(\text{aq})} + \text{NO}_3^-_{(\text{aq})}$) de concentration en quantité de matière $1,00 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$.

Le titrage est suivi par conductimétrie. L'équation de la réaction support du titrage est :

**Données :**Conductivités molaires ioniques à 25°C (S.m².mol⁻¹)

$\lambda_{\text{Cl}^-_{(\text{aq})}}$	$\lambda_{\text{Ag}^+_{(\text{aq})}}$	$\lambda_{\text{NO}_3^-_{(\text{aq})}}$
$76,3 \times 10^{-4}$	$71,4 \times 10^{-4}$	$61,9 \times 10^{-4}$

- B.1.** Identifier, parmi les trois courbes I, II et III proposées sur le graphique de la **figure 2** suivante, celle qui représente l'évolution simulée de la conductivité σ du mélange en fonction du volume V de solution de nitrate d'argent versé. Justifier votre réponse.
- B.2.** Le volume versé à l'équivalence est $V_E = 13,0 \text{ mL}$. En déduire si l'eau du prélèvement peut être utilisée pour l'alimentation en eau potable.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.

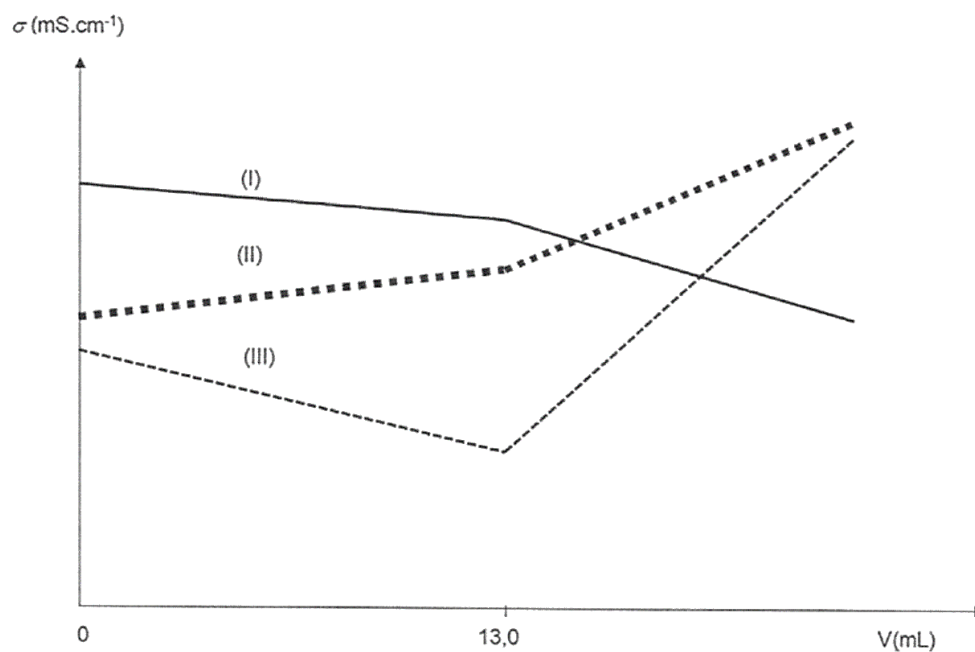


Figure 2 : Évolution simulée de la conductivité σ du mélange en fonction du volume V de solution de nitrate d'argent versé

C. Modélisation d'un titrage

Ce titrage peut être modélisé en utilisant le langage de programmation Python (extrait en **figure 3**). L'objectif est de visualiser l'évolution des quantités de matière des ions $\text{Ag}^+_{(\text{aq})}$, des ions $\text{Cl}^-_{(\text{aq})}$, et du produit $\text{AgCl}_{(\text{s})}$ au cours du titrage (**figure 4**).

- C.1.** Les quantités de matière n_A , n_B et n_C , mentionnées et calculées aux lignes 21, 22, 23, 28, 29 et 30 du programme Python (**figure 3**) sont représentées sur la **figure 4**. Grâce à cette dernière et avec justification, identifier les espèces chimiques A, B et C.
- C.2.** Compléter la ligne 15 du programme Python de la **figure 3** afin qu'il calcule la concentration en quantité de matière en ions chlorure.

```

1 import numpy as np
2 import matplotlib.pyplot as plt
3
4 # Définition des quantités de matière de A, B et C
5 nA=[]
6 nB=[]
7 nC=[]
8
9 # Conditions expérimentales
10 cB = 0.01 # Saisie de la concentration de la solution titrante (mol/L)
11 vA = 50 # Saisie du volume initial de solution titrée (mL)
12 VE = 13 # Saisie du volume équivalent (mL)
13
14 # Calcul de la concentration en quantité de matière en ions chlorure
15 cA = ?
16 print("Concentration en quantité de matière en ions chlorure = ",cA, "mol/L")
17
18 # Calcul des quantités de matière en mmol avant et à l'équivalence
19 # en fonction du volume V de solution titrante versé
20 def avant_Eqv(V) :
21     nA.append(cA*VA - cB*V)
22     nB.append(0)
23     nC.append(cB*V)
24
25 # Calcul des quantités de matière en mmol après l'équivalence
26 # en fonction du volume V de solution titrante versé
27 def apres_Eqv(V) :
28     nA.append(0)
29     nB.append(cB*V - cA*VA)
30     nC.append(cA*VA)

```

Figure 3 : Extrait du programme écrit en langage Python

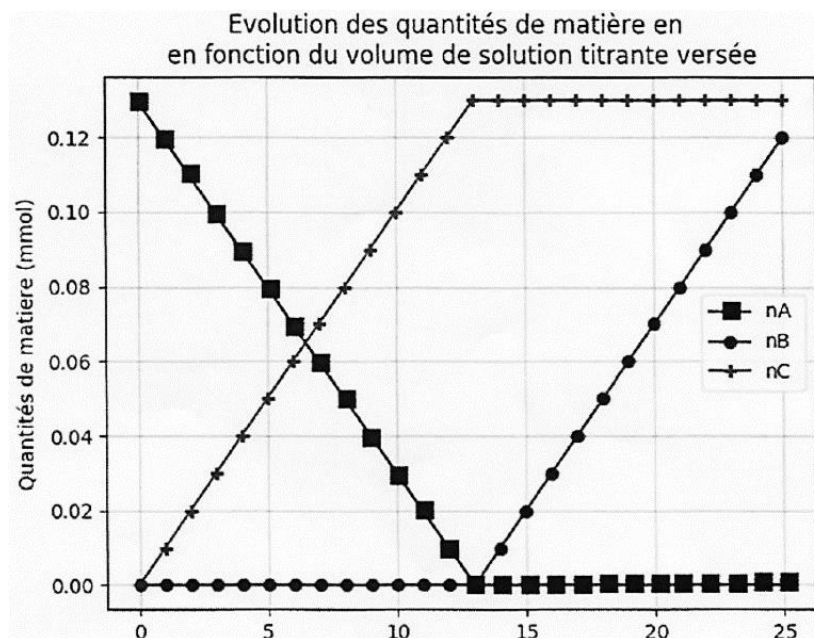


Figure 4 : Évolutions des quantités de matière des ions $\text{Ag}^+_{(\text{aq})}$, des ions $\text{Cl}^-_{(\text{aq})}$, et du produit $\text{AgCl}_{(\text{s})}$ au cours du titrage obtenues à l'aide du programme écrit en langage Python