BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2026

PHYSIQUE-CHIMIE

Jour 1

Durée de l'épreuve : **3 heures 30**
Coefficient : **16**

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collège » est autorisé.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 12 pages numérotées de 1/12 à 12/12.

EXERCICE 1. La vitamine C (9 points)

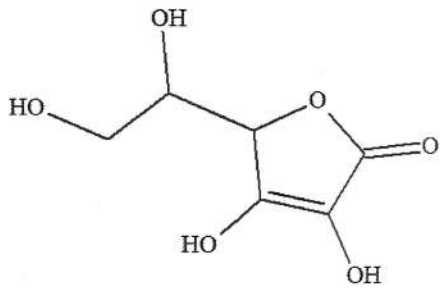
La vitamine C, ou acide ascorbique, est une espèce chimique que l'on trouve dans de nombreux fruits et légumes. Une carence en vitamine C peut provoquer le scorbut.

On trouve, dans le commerce, des compléments alimentaires sous forme de gélules ou de comprimés de vitamine C.

L'objectif de cet exercice est d'étudier la synthèse ainsi que deux dosages possibles de l'acide ascorbique.

Données :

- formule topologique de la molécule d'acide ascorbique ;



- masse molaire de l'acide ascorbique : $M_A = 176{,}1\ \text{g·mol}^{-1}$;
- masse molaire du glucose : $M_G = 180{,}2\ \text{g·mol}^{-1}$;
- constante de Faraday : $\mathcal{F} = 9{,}65 \times 10^4\ \text{C·mol}^{-1}$;
- charge Q (en C) parcourant le circuit pendant la durée Δt (en s) :
  - $Q = I \cdot \Delta t$ avec I intensité du courant (en A) ;
  - $Q = n_e \cdot \mathcal{F}$ et avec n_e la quantité d'électrons échangée en mol.

Zone de virage de quelques indicateurs colorés :

Indicateur coloré	Zone de virage (pH)	Forme acide	Forme basique
Hélianthine	3,2 – 4,4	Rouge	Jaune
Rouge de méthyle	4,2 – 6,2	Rouge	Jaune
Bleu de bromothymol (BBT)	6,0 – 7,6	Jaune	Bleu
Rouge de crésol	7,2 – 8,8	Jaune	Rouge
Indicateur TA	8,2 – 9,8	Incolore	Rose

Accord d'une mesure avec une valeur de référence :

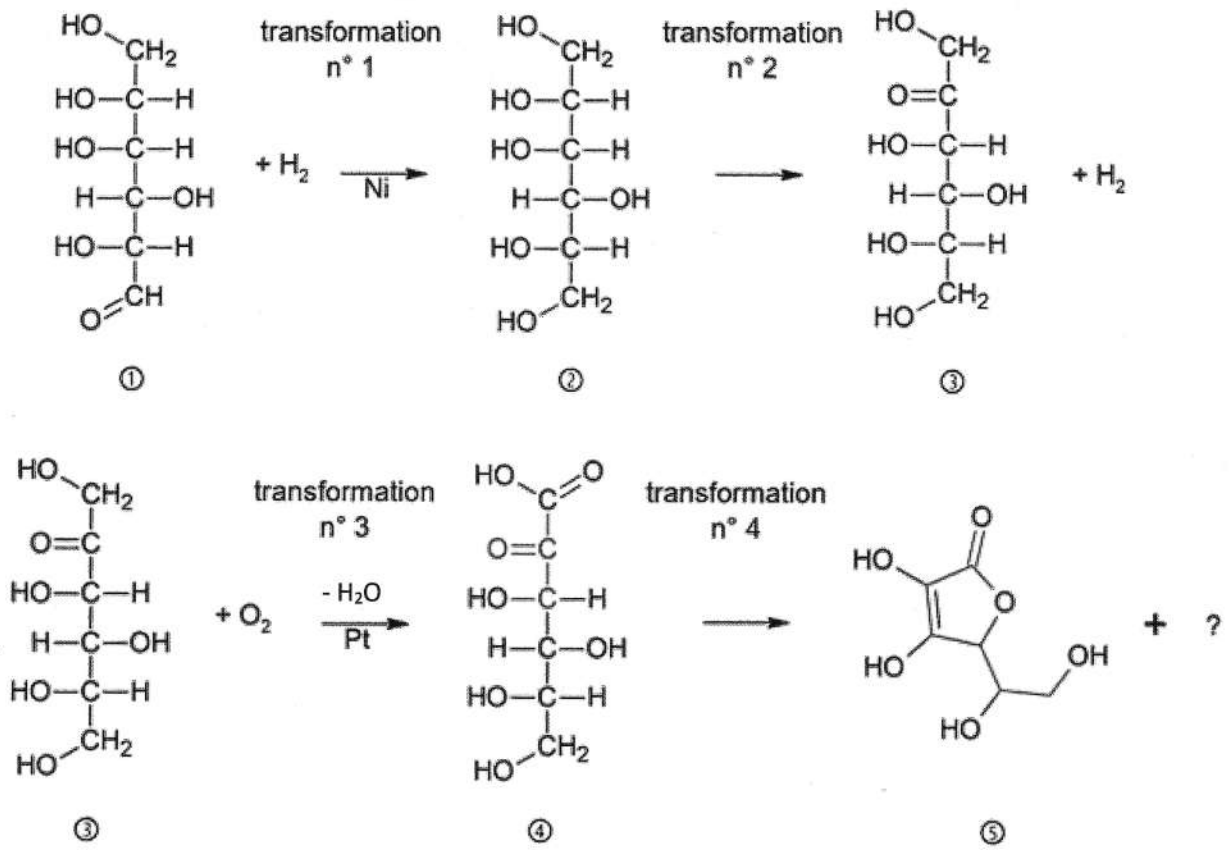
On note : $z = \dfrac{|x - x_{\text{ref}}|}{u(x)}$

avec :
- x : la valeur mesurée ;
- x_{ref} : la valeur de référence ;
- $u(x)$: l'incertitude-type associée à la mesure de x.

Le résultat d'une mesure est considéré en accord avec une valeur de référence si la valeur du quotient z est inférieure ou égale à 2.

Partie 1. Étude de la synthèse de vitamine C

Le procédé Reichstein est un procédé chimique pour la production de l'acide ascorbique, ou vitamine C, à partir du glucose. Le procédé est décrit par les quatre transformations de la figure 1.



① : glucose ; ② : sorbitol ; ③ : sorbose ; ④ : acide 2-kéto-gulonique ; ⑤ : acide ascorbique.

Le nickel Ni et le platine Pt des transformations 1 et 3 sont des catalyseurs.

Figure 1. Les quatre transformations du procédé Reichstein. *D'après Wikipedia, 2025*

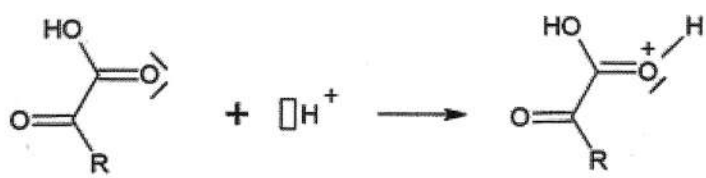
Q1. Nommer la fonction chimique qui apparait et celle qui disparait lors de la transformation n° 1 de la synthèse de la vitamine C.

Q2. Indiquer la catégorie des réactions modélisant les transformations n° 1 et n° 3 parmi les propositions suivantes : acido-basique, oxydo-réduction, élimination, addition, substitution.

La transformation n° 4 est une élimination.

Q3. Écrire la formule semi-développée de la molécule ⑤ et indiquer quelle est l'autre molécule formée lors de l'étape n° 4, représentée par un point d'interrogation sur la figure 1.

La première étape du mécanisme de la transformation n° 4 fait intervenir un acide en tant que catalyseur (R correspond à une partie non représentée de la molécule n° 4) :



Q4. Reproduire cette première étape sur votre copie en ajoutant la flèche courbe qui explique la formation de la liaison O–H.

À la suite de différentes améliorations de ce procédé, le rendement actuel total de la transformation de glucose en acide ascorbique est d'environ 60 %.

Q5. La production mondiale annuelle d'acide ascorbique de synthèse est de 80 000 tonnes. Déterminer la masse de glucose nécessaire à cette production.

Dans les deux parties suivantes, on souhaite déterminer, de deux façons différentes, la masse d'acide ascorbique présente dans une gélule. Pour cela, on réalise une solution S selon le protocole suivant :

- placer tout le contenu d'une gélule dans une fiole jaugée de volume $V_0 = 500\ \text{mL}$ et remplir à moitié avec de l'eau distillée ;
- agiter pour dissoudre puis compléter jusqu'au trait de jauge, homogénéiser la solution S obtenue.

Partie 2. Dosage par titrage de l'acide ascorbique présent dans une gélule

Dans cette partie, on réalise le dosage par titrage colorimétrique de la solution S selon le protocole suivant :

- remplir convenablement la burette avec la solution titrante d'hydroxyde de sodium de concentration $C = 5{,}0 \times 10^{-3}\ \text{mol·L}^{-1}$;
- prélever précisément $V_{S1} = 10{,}0\ \text{mL}$ de solution S et les verser dans un erlenmeyer ;
- ajouter quelques gouttes de rouge de crésol ;
- placer sous agitation magnétique ;
- ajouter lentement, à l'aide d'une burette graduée, une solution d'hydroxyde de sodium $(\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{HO}^-(\text{aq}))$ jusqu'à ce qu'une goutte fasse changer la couleur du contenu de l'erlenmeyer.

Le volume de solution d'hydroxyde de sodium versé est alors $V_E = 11{,}25\ \text{mL}$.

Q6. Indiquer quelle verrerie utiliser pour prélever précisément $V_{S1} = 10{,}0\ \text{mL}$ de solution S.

Q7. Indiquer quel changement de couleur a été observé dans l'erlenmeyer lors du titrage avec le rouge de crésol.

On simule un suivi pH-métrique de ce dosage. On obtient la courbe de la figure 2.

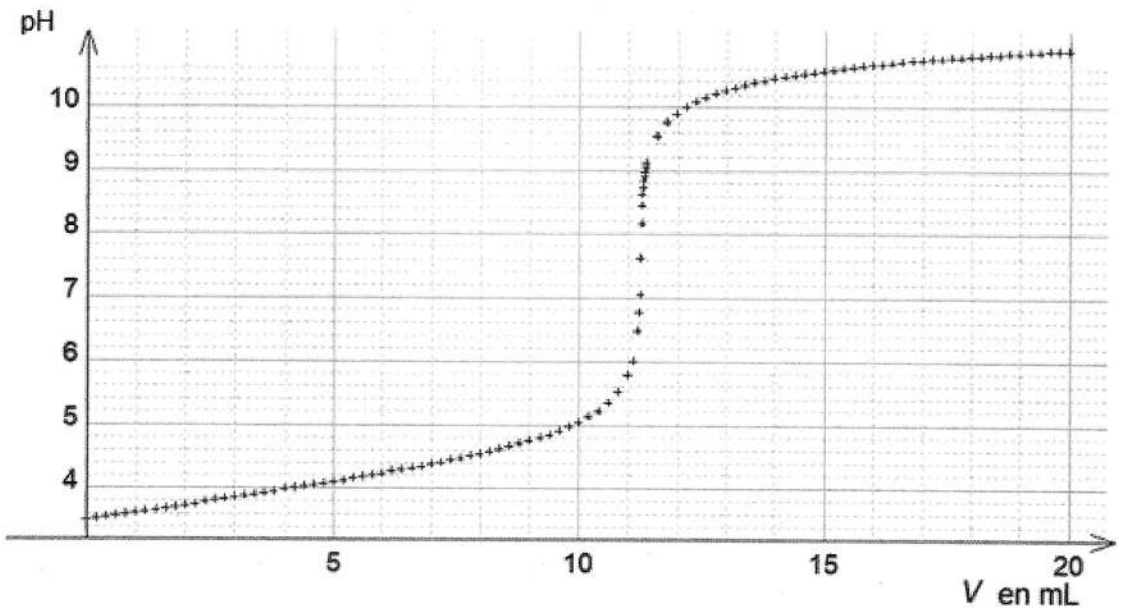


Figure 2. Courbe simulée du titrage de la solution S par la solution d'hydroxyde de sodium

Q8. Préciser si le choix du rouge de crésol pour repérer l'équivalence de ce titrage est pertinent. Justifier et préciser si un autre indicateur coloré aurait pu être utilisé.

Dans la suite de cette partie, on note AH la molécule d'acide ascorbique.

Q9. Écrire l'équation de la réaction support du dosage de l'acide ascorbique par l'hydroxyde de sodium.

Q10. En déduire que la masse d'acide ascorbique présente dans la gélule est $m_1 = 495\ \text{mg}$.

Partie 3. Dosage par coulométrie

Dans cette partie, le dosage, dit dosage par coulométrie, s'appuie sur un montage d'électrolyse exploitant les propriétés réductrices de la molécule d'acide ascorbique (figure 3 ci-dessous).

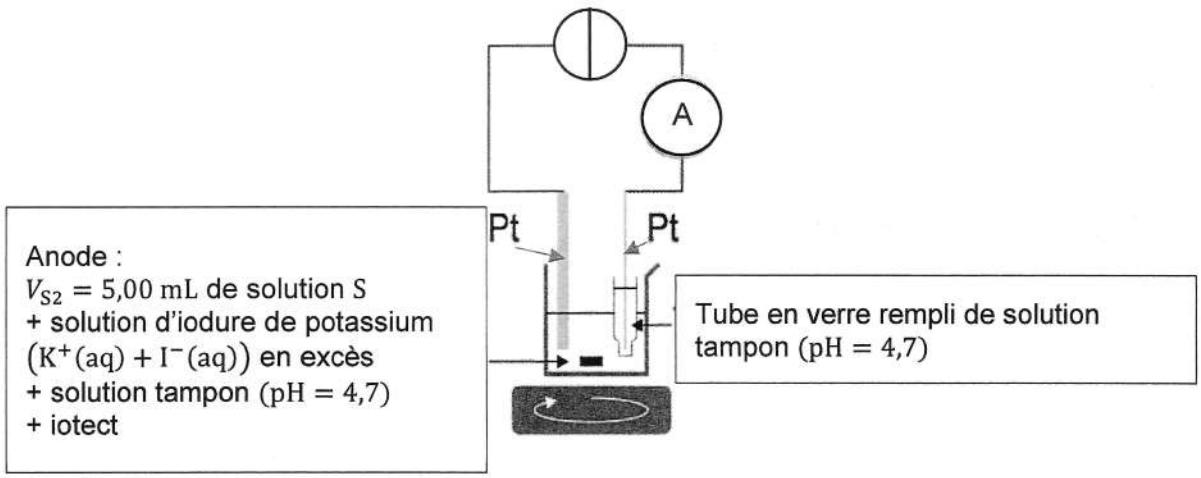


Figure 3. Montage du titrage coulométrique de la vitamine C

L'iotect ajouté dans le bécher est un indicateur qui prend une coloration noire en présence de diiode.

Le générateur est un générateur de courant : il maintient un courant d'intensité I constante dans le circuit.

À l'anode, lorsque le courant est établi, les ions iodure I^- sont oxydés en diiode I_2. Le diiode ainsi formé oxyde instantanément l'acide ascorbique selon la transformation modélisée par la réaction d'équation suivante :

$$\underset{\text{acide ascorbique}}{C_6H_8O_6} + I_2 \longrightarrow C_6H_6O_6 + 2\,I^- + 2\,H^+ \qquad \text{réaction A}$$

Quand la totalité de l'acide ascorbique est oxydée, la concentration en diiode augmente dans le bécher, la solution prend alors progressivement une coloration noire. On arrête alors le chronomètre.

On mesure la durée Δt entre l'établissement du courant et l'apparition d'une coloration noire dans la solution.

D'après le BUP n° 972 de mars 2015

Q11. Rappeler les propriétés d'une solution tampon.

L'expérience a duré $\Delta t = 3\ \text{min}\ 55\ \text{s}$ avec un courant d'intensité $I = 23{,}9\ \text{mA}$.

Q12. Calculer, dans l'unité du système international, la valeur de la charge Q qui a circulé dans le circuit pendant la durée Δt.

L'acide ascorbique appartient au couple oxydant/réducteur : $C_6H_6O_6$ / $C_6H_8O_6$.

Q13. Écrire la demi-équation électronique du couple $C_6H_6O_6$ / $C_6H_8O_6$.

Q14. Établir la relation entre la quantité d'électricité Q, la concentration en masse C_{mA} d'acide ascorbique $C_6H_8O_6$ de la solution S, le volume V_{S2} de solution S, la masse molaire M_A de l'acide ascorbique et la constante de Faraday $\mathcal{F}$.

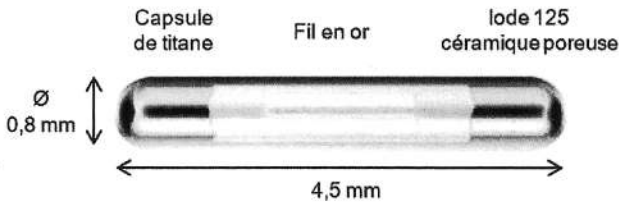
Q15. Déterminer la valeur de la masse m_2 d'acide ascorbique présente dans la gélule.

Lors de cette expérience, la coloration noire de la solution apparait progressivement, la durée Δt est donc déterminée avec une incertitude non négligeable. On estime que la masse d'acide ascorbique est alors déterminée avec une incertitude-type $u(m_2) = 10$ mg.

Q16. Déterminer si le résultat de ce deuxième dosage est cohérent avec le premier qui sert alors de référence.

EXERCICE 2. Curiethérapie (5 points)

On observe depuis les années 2000, en particulier aux États-Unis et en Europe, un recours accru à la curiethérapie pour les traitements des cancers de la prostate. La curiethérapie de la prostate consiste à installer dans cette glande des implants radioactifs constitués d'une source radioactive d'iode 125 enrobée dans une capsule de titane.



Source : https://relir.cepn.asso.fr

Données :

- nombre d'Avogadro : $\mathcal{N}_A = 6{,}02 \times 10^{23}\ \text{mol}^{-1}$;
- masse molaire de l'iode 125 : $M = 125\ \text{g·mol}^{-1}$;
- constante de désintégration pour l'iode 125 : $\lambda = 1{,}35 \times 10^{-7}\ \text{s}^{-1}$.

Dans un premier temps, on s'intéresse à la production d'iode 125 $\left({}^{125}_{53}\text{I}\right)$. Celui-ci peut être obtenu par désintégration β^+ du xénon (Xe) 125.

Q1. Indiquer la composition d'un noyau d'iode 125 $\left({}^{125}_{53}\text{I}\right)$.

Q2. Indiquer si l'iode 125 et le xénon 125 sont des isotopes. Justifier.

Q3. Écrire l'équation de désintégration du xénon 125 en iode 125.

À présent, on étudie l'évolution au cours du temps du nombre de noyaux d'iode 125 radioactifs dans un implant. La figure 1 ci-dessous représente les résultats d'une simulation de cette évolution.

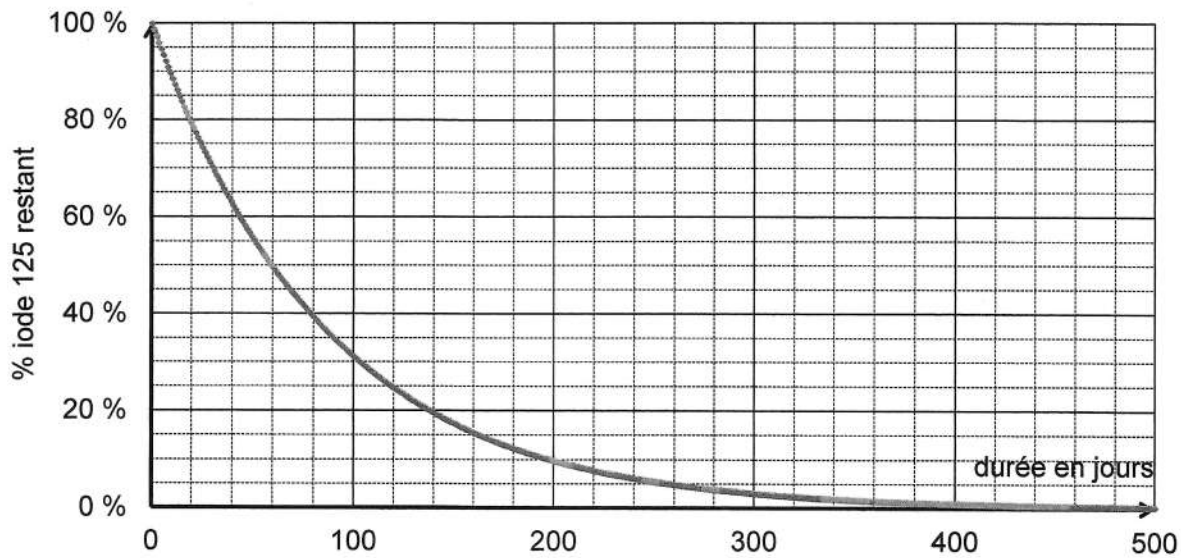


Figure 1. Simulation de la courbe de décroissance radioactive de l'iode 125

On notera N_0 le nombre de noyaux radioactifs initialement présents dans un implant.

Q4. Énoncer la loi de décroissance radioactive, en précisant la signification de chacun des termes.

Q5. Définir le temps de demi-vie, $t_{1/2}$, d'un noyau radioactif.

Q6. Démontrer que la valeur de la constante de désintégration radioactive λ et le temps de demi-vie $t_{1/2}$ sont reliés par l'expression :

$$t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda}$$

Q7. Retrouver la valeur de la constante de désintégration λ de l'iode 125 à l'aide de la courbe de la figure 1.

On rappelle que l'activité $A(t)$ d'une source radioactive vérifie :

$$A(t) = -\frac{\mathrm{d}N(t)}{\mathrm{d}t}$$

Q8. Montrer que l'activité $A(t)$ d'une source radioactive est proportionnelle au nombre $N(t)$ de noyaux radioactifs présents dans cette source.

Un implant contient initialement une masse $m_0 = 2{,}5$ ng d'iode 125. Un traitement de la prostate nécessite une activité initiale totale $A_0 = 1\,500 \times 10^6$ Bq.

Q9. En déduire le nombre d'implants qui doivent être mis en place.

EXERCICE 3. Vélocimétrie laser à franges (6 points)

La vélocimétrie laser à franges est une méthode pour mesurer la vitesse d'écoulement d'un fluide sans perturber localement l'écoulement. Elle consiste à croiser deux faisceaux laser issus d'une même source dans une zone de l'écoulement (voir figure 1) afin d'y créer des franges d'interférences lumineuses (voir figure 2).

On introduit dans le fluide des particules diffusantes. Celles-ci suivent l'écoulement et lorsqu'elles traversent une frange lumineuse, elles diffusent la lumière reçue. Un capteur mesure alors l'intensité de la lumière diffusée au cours du temps, ce qui permet d'accéder à la vitesse avec laquelle la particule traverse les différentes franges d'interférences. On considère que cette vitesse est constante, et, est égale à celle du fluide dans la zone étudiée.

Lorsqu'on étudie un écoulement d'air, on peut utiliser comme particules diffusantes des gouttelettes d'huile d'olive.

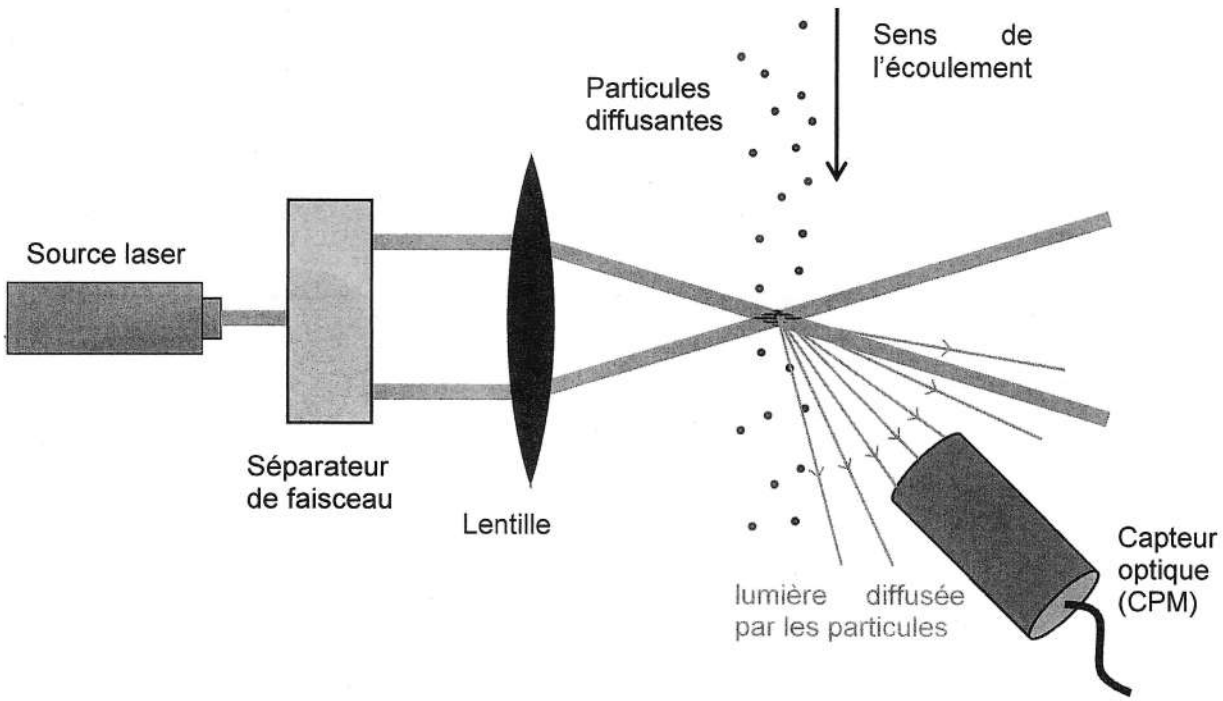


Figure 1. Schéma simplifié d'un montage de vélocimétrie laser à franges

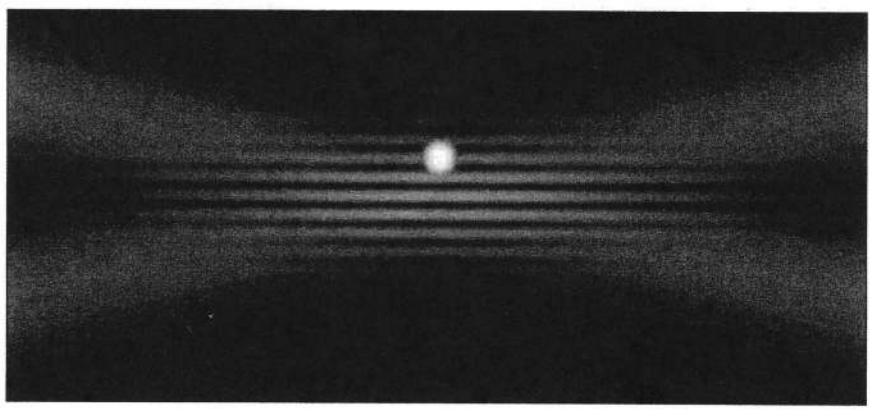


Figure 2. Figure d'interférences obtenue en croisant les deux faisceaux laser. Une gouttelette d'huile (point brillant) portée par le courant d'air scintille en passant à travers les franges.
Source : ONERA

Dans cette partie, on s'intéresse à la production de la figure d'interférences, puis à la mesure de la vitesse de l'écoulement et enfin au capteur optique utilisé pour détecter la lumière diffusée.

Données :

- longueur d'onde du laser : $\lambda = 635\ \text{nm}$;
- vitesse de la lumière dans le vide : $c = 3{,}00 \times 10^{8}\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$;
- constante de Planck : $h = 6{,}63 \times 10^{-34}\ \text{J}\cdot\text{s}$;
- travail d'extraction d'un électron de l'or : $W_{\text{ext}} = 5{,}1\ \text{eV}$;
- $1\ \text{eV} = 1{,}6 \times 10^{-19}\ \text{J}$.

Production de la figure d'interférences

On fait interférer deux faisceaux laser obtenus à partir d'une même source laser et inclinés l'un par rapport à l'autre. La situation est schématisée dans la figure 3 ci-dessous.

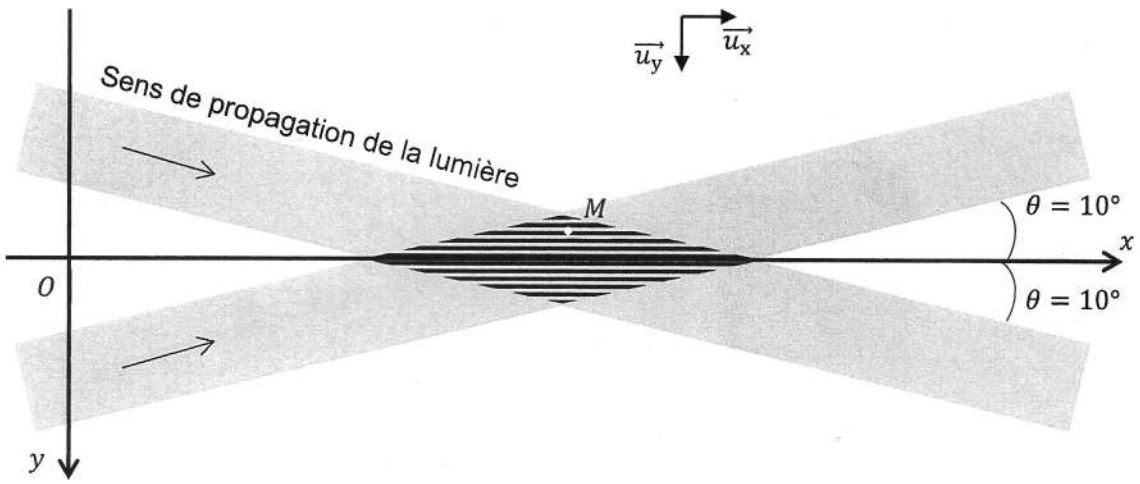


Figure 3. Croisement des faisceaux laser

On considère un point M de coordonnées $(x,\ y)$, situé dans la zone d'interférences. Les ondes des deux faisceaux laser parviennent en M avec une différence de chemin optique δ.

Q1. Donner la relation entre la différence de chemin optique δ, la longueur d'onde λ du laser et un entier k lorsque le point M est dans une zone d'interférences constructives.

On peut montrer géométriquement que $\delta = 2\,y \cdot \sin(\theta)$.

Q2. En déduire l'expression de y en fonction de δ, λ, θ et de l'entier k.

Q3. Donner la définition de l'interfrange.

Q4. Montrer que, dans la situation étudiée, l'expression de l'interfrange i est donnée par :

$$i = \frac{\lambda}{2\sin(\theta)}.$$

Q5. Calculer la valeur de l'interfrange i en mètre puis en micromètre.

Mesure de la vitesse de l'écoulement

En traversant la zone d'interférences avec une vitesse $\vec{v} = v \cdot \overrightarrow{u_y}$, une gouttelette d'huile scintille.

Q6. Expliquer l'origine de ce scintillement.

Grâce à un photorécepteur placé près de la zone d'interférences, on mesure l'intensité lumineuse diffusée par la particule au cours du temps. On obtient le signal représenté sur la figure 4.

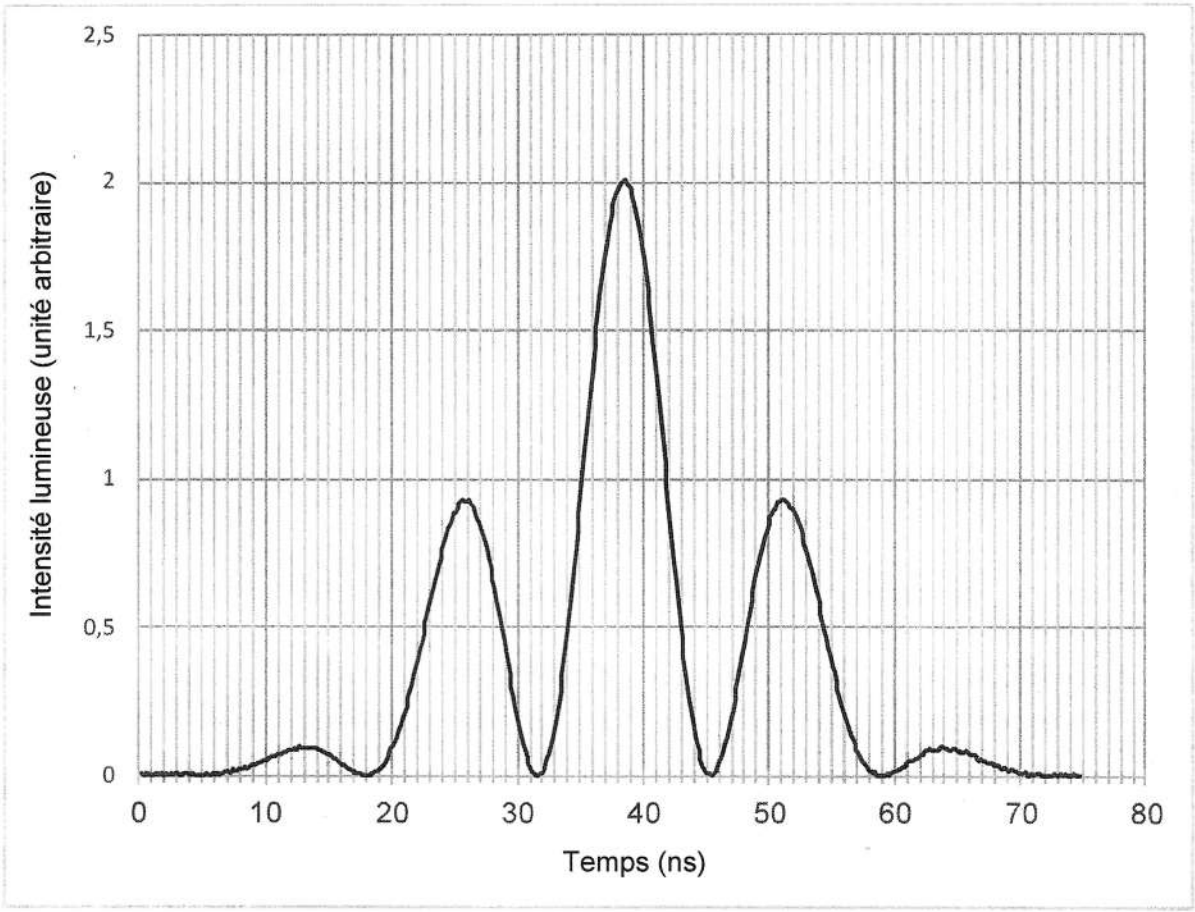


Figure 4. Intensité lumineuse reçue par le capteur lors du passage d'une gouttelette d'huile dans la zone d'interférences

Q7. À l'aide de la réponse à la question **Q5** et de la figure 4, déterminer la valeur de la vitesse v de la gouttelette d'huile. Détailler la démarche.

Capteur optique

L'intensité lumineuse diffusée par une unique gouttelette étant très faible, l'utilisation d'un capteur extrêmement sensible est nécessaire. On utilise donc généralement un Channel PhotoMultiplier (C.P.M.), capable d'amplifier le signal jusqu'à cent millions de fois.

Un C.P.M. est constitué, entre autres, d'une photocathode en métal reliée à une anode par un tube. Un schéma simplifié est présenté figure 5.

Lorsqu'un photon percute la photocathode, un électron est arraché. Cet électron, accéléré par le champ électrique généré par l'alimentation du C.P.M., va entrer en collision avec les parois du C.P.M. Ces collisions auront pour effet d'arracher un ou plusieurs électrons identiques au premier, qui seront également accélérés, et ainsi de suite jusqu'à l'anode, où le signal amplifié sera mesuré.

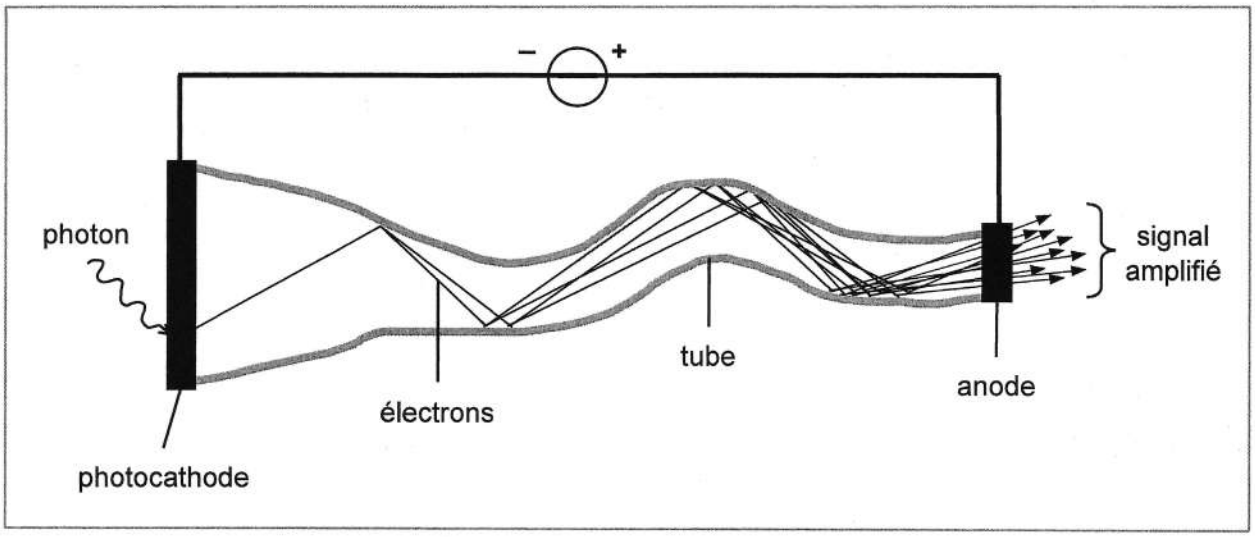


Figure 5. Schéma simplifié d'un Channel PhotoMultiplier (C.P.M.)

Q8. Rappeler le nom du phénomène ayant lieu à la photocathode et conduisant à l'émission d'un électron.

Q9. Choisir en justifiant la proposition correcte parmi les deux propositions suivantes.

Proposition A. Le champ électrique accélérant les électrons est orienté de la photocathode vers l'anode.

Proposition B. Le champ électrique accélérant les électrons est orienté de l'anode vers la photocathode.

Parmi les C.P.M. disponibles, on dispose d'un C.P.M. avec une photocathode en or.

Q10. Déterminer la valeur de la fréquence seuil ν_S de la lumière permettant d'extraire un électron de l'or.

Q11. Indiquer si ce C.P.M. peut être utilisé pour mesurer le signal diffusé par la gouttelette d'huile étudiée précédemment. On supposera que ce signal a la même longueur d'onde que le laser utilisé.

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.