

CONCOURS GENERAL DES LYCEES

SESSION 2019

TERMINALE S

PHYSIQUE-CHIMIE

RAPPORT DU JURY

Sommaire

1. Composition du jury de la session 2019.....	3
2. Statistiques pour la session 2019	4
3. Commentaires sur l'épreuve écrite.....	6
4. Annexe : corrigé.....	8

1. Composition du jury de la session 2019

OBERT Dominique, président, IGEN

MAUHOURLAT Marie-Blanche, vice-présidente, IGEN

CARNIS Aurélie, professeure agrégée, académie de Versailles

DEBLIECK Clément, professeur agrégé, académie de Lille

FAYON Karine, professeure agrégée, académie de Créteil

FREULON Vincent, professeur agrégé, académie de Versailles

JAMONNEAU Pierre, professeur agrégé, académie de Nantes

MARCHAND Patricia, professeure agrégée, académie de Créteil

PEHLATE Christophe, professeur agrégé, académie de Versailles

PRALY Élise, professeure agrégée, académie de Grenoble

SCHMITT Aline, professeure agrégée, académie de Lille

TOGNETTI Pierre, professeur agrégé, académie de Paris

VAN BRACKEL Emmanuel, professeur agrégé, académie de Nantes

2. Statistiques pour la session 2019

2208 candidats ont composé, pour 2358 inscrits, ce qui montre que l'engagement fort et la motivation des élèves ayant décidé de préparer le concours général ne faiblit pas entre la période d'inscription (fin du premier trimestre) et le concours (mi-mars, fin du second trimestre). Le nombre de candidats ayant composé progresse légèrement par rapport à la session 2018 : 2208 contre 2164.

Les 2358 candidats inscrits au concours général de physique-chimie pour la session 2019 se répartissent de la manière suivante selon leur genre et leur origine territoriale.

	Filles	Garçons
Aix-Marseille	23	67
Amiens	18	25
Besançon	3	5
Bordeaux	21	56
Caen	8	20
Clermont-Ferrand	11	14
Corse	1	3
Créteil	79	117
Dijon	20	37
Grenoble	17	59
Guadeloupe	2	10
Guyane	5	1
Lille	21	54
Limoges	1	2
Lyon	28	73
Martinique	8	5
Montpellier	27	46
Nancy-Metz	26	44
Nantes	12	68
Nice	37	51
Orléans-Tours	15	47
Paris	73	195
Poitiers	2	8
Polynésie Française	0	1
Reims	7	20
Rennes	12	41
Réunion	7	18
Rouen	13	32
Strasbourg	11	45
Toulouse	39	78
Versailles	124	254
Lycées français à l'étranger	72	119
Totaux	743	1615

On dénombre donc environ 32 % de filles parmi les inscrits pour une représentation d'environ 47 % dans la population des élèves des classes de terminale S¹.

Les candidats des lycées français à l'étranger sont issus de 32 pays et se répartissent de la manière suivante :

Pays	Filles	Garçons
Ambassade de France au Danemark	0	2
Ambassade de France en Autriche	3	2
Ambassade de France en Roumanie	0	2
Ambassade de France en Serbie	0	1
Ambassade de France en Italie	1	3
Ambassade de France en Belgique	1	2
Ambassade de France en Espagne	4	5
Ambassade de France aux Pays-Bas	2	2
Ambassade de France au Luxembourg	5	5
Ambassade de France au Portugal	0	1
Ambassade de France en Arabie saoudite	2	1
Ambassade de France en Chine	2	2
Ambassade de France en Inde	0	3
Ambassade de France à Singapour	4	2
Ambassade de France en Malaisie	0	1
Ambassade de France aux Emirats arabes unis	7	7
Ambassade de France en Egypte	6	6
Ambassade de France au Cameroun	2	0
Ambassade de France en Côte d'Ivoire	0	2
Ambassade de France à Madagascar	0	4
Ambassade de France au Maroc	12	22
Ambassade de France en Tunisie	8	9
Ambassade de France en Algérie	0	1
Ambassade de France à Maurice	1	3
Ambassade de France au Canada	3	5
Ambassade de France aux Etats-Unis	0	3
Ambassade de France au Mexique	1	2
Ambassade de France au Salvador	0	3
Ambassade de France en Colombie	3	1
Ambassade de France au Venezuela	0	1
Ambassade de France en Turquie	0	2
Ambassade de France au Liban	5	14

¹ Sources : *Repères et références statistiques 2018 – Depp*

3. Commentaires sur l'épreuve écrite

L'épreuve de la session 2019 porte sur l'expérience historique de Ives et Stilwell qui constitue une validation expérimentale de la théorie de la relativité restreinte. La théorie relativiste prédit, en effet, un décalage par effet Doppler des longueurs d'onde des raies d'émission d'ions H_2^+ et H_3^+ différent de celui prédit à l'aide de la théorie classique. Le jury s'est réjoui de constater que de nombreuses copies ont réussi à bien avancer dans le sujet.

Remarques à propos des réponses apportées par les candidats.

- Partie I -

1) De nombreux candidats ont la bonne intuition, mais seule la moitié des copies s'appuie explicitement sur le positionnement des centres des cercles pour retrouver les positions successives des points d'émission.

2) à 6) Bien traitées par une large majorité de copies. De manière générale, le jury invite les futurs candidats à vérifier rapidement l'homogénéité des formules obtenues afin de détecter une éventuelle erreur de calcul.

7) Bien comprise en général, même si une moitié des copies se contente de tester l'expression proposée sur le seul cas $\vartheta = 0$.

8) Correctement traitée par une majorité de copies. Les erreurs relèvent souvent d'une faute de signe.

9) Certains candidats se limitent à décrire la courbe. Une interprétation de son allure est attendue. Pour répondre correctement, il faut bien percevoir la différence entre la vitesse du satellite et la vitesse de variation de l'angle sous lequel le satellite est vu par l'expérimentateur.

10) à 12) Bien traitées par une majorité de copies. Il ne faut pas oublier, pour les applications numériques, qu'une fréquence n'est pas un nombre sans unité.

13) Bien traitée dès lors que les candidats pensent à utiliser la troisième loi de Kepler mentionnée dans le formulaire. Les candidats ont une bonne connaissance de l'ordre de grandeur du rayon moyen de la Terre qui peut être comparé au rayon de l'orbite du satellite.

14) Un nombre non négligeable de copies aborde cette résolution de problème. Ces copies sont systématiquement valorisées. Les copies qui traitent la question, exploitent l'angle d'ouverture du demi-cône avec des relations trigonométriques. De même, les différentes vitesses utiles à la résolution sont bien introduites. Cependant, malgré les indications en introduction de la question, certaines copies ne font pas le lien avec la question 1 pour traduire géométriquement la tangence du demi-cône de brouillard aux surfaces d'onde.

- Partie II -

15) Un nombre important de candidats affirme que $\alpha = 1$.

16) Bien traitée, même si certains préfèrent faire deux applications numériques en conservant r plutôt que de calculer le quotient des deux normes des forces.

17) De nombreuses copies appliquent correctement le principe fondamental de la dynamique pour aboutir à l'expression de v^2 .

18) à 21) Les calculs, plus délicats dans ces questions, sont très discriminants. L'intégration de l'hypothèse de Bohr aux calculs a été difficile. L'unité de h n'est pas toujours correcte. L'ordre de grandeur de r_1 est peu connu.

22) Question traitée dans une large majorité de copies, mais réussie par seulement une moitié d'entre-elles. Une erreur fréquente est d'inverser les longueurs d'onde.

23) et 24) Peu abordées. Une justification rigoureuse n'est que rarement proposée. On peut toutefois noter que l'évolution de λ avec p est analysée de manière cohérente.

25) à 27) Il est conseillé de ne pas répondre trop rapidement à ces questions, en y accordant toute la rigueur nécessaire.

28) Beaucoup de copies ont abordé cette question. Pour une moitié d'entre-elles, la rédaction est insuffisante : un théorème énergétique doit être énoncé et appliqué clairement.

30) La discussion doit questionner plusieurs aspects : le modèle affine est-il en accord avec les mesures ? Que dire de l'ordonnée à l'origine ? Les copies ayant discuté les deux points sont valorisées.

31) Bien traitée.

32) Souvent bien traitée dans les copies répondant à cette question.

33) Il y a fréquemment des erreurs de calcul. La réponse est souvent une paraphrase de la question.

- Partie III -

35) Il ne faut pas confondre « groupe caractéristique » et « fonction ».

36) à 40) Bien traitées.

42) Les candidats oublient souvent de préciser que la masse de l'électron est très petite devant celle d'un nucléon.

43) Souvent traitée de manière trop qualitative. Pour justifier cette réponse, il est attendu d'identifier les quatre produits possibles de la synthèse dans le spectre.

- 44) Un nombre non négligeable de copies ne définit pas correctement un acide, une base (au sens de Brønsted).
- 45) Si la « catalyse » est souvent évoquée, son caractère « hétérogène » l'est rarement.
- 46) Beaucoup de candidats citent des interactions non pertinentes (interactions gravitationnelle, faible).
- 47) La chiralité et la notion d'énantiométrie sont souvent mal définies.
- 48) Un nombre important de copies propose un diagramme de prédominance incorrect ou incomplet.
- 49) La composition d'un mélange racémique n'est souvent pas connue.
- 50) Globalement bien traitée. Les équipements de protection individuelle (lunettes, gants) sont cependant rarement cités.
- 55) La plupart des candidats réussit à déterminer la concentration de glycine en solution. Il était attendu une justification sur la détermination du volume à l'équivalence.

- Partie IV -

- 56) Le postulat est correctement énoncé dans les copies ayant abordé cette partie.
- 57) à 59) Bien traitées. La notion de durée propre est souvent floue.
- 60) Rares sont les candidats qui donnent une estimation en s'appuyant sur le formulaire. La plupart des copies indique que la quantité, que l'on demande d'estimer, est environ nulle, mais précise, très justement, qu'elle est de signe positif. Le jury attend une estimation de cette grandeur dans un cas usuel.
- 65) et 66) Quelques candidats pensent à utiliser une lentille. Le vocabulaire manque souvent de rigueur (confusion entre foyers objet, image et plan focal image).
- 70) Les candidats abordant cette question sont en général en mesure de donner les avantages de l'utilisation d'un réseau en termes d'éclairement et de largeur des maxima.

4. Annexe : corrigé

- Proposition de correction

Le corrigé du sujet de la session 2019 proposé en annexe vise à aider les futurs candidats à se préparer au concours général des lycées de physique-chimie de la filière S. Il constitue une proposition et n'a donc aucune visée normative.

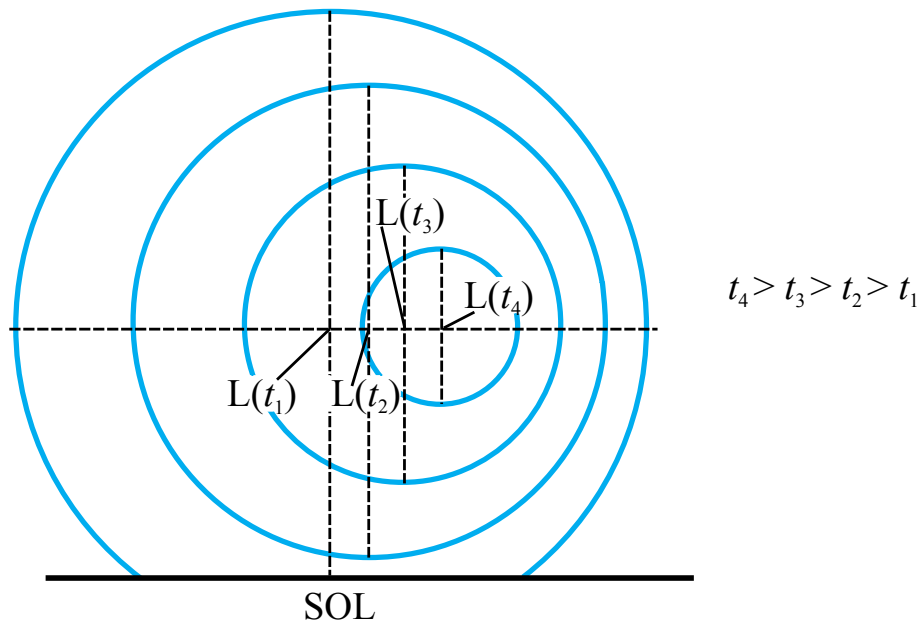
Remarque : les candidats ont été prévenus en début d'épreuve de ne pas traiter la question 41.

Une preuve expérimentale de l'effet Doppler relativiste

Partie I – L'effet Doppler classique

I.A Explication théorique de l'effet Doppler

1 Chaque cercle est centré sur la position de la lampe lors de l'émission du flash associé au cercle. Plus le rayon du cercle est grand, plus le flash est ancien. En traçant la suite des positions des centres des cercles, en allant de celui ayant le plus grand rayon à celui ayant le plus petit, on obtient la trajectoire de L :



Le point L se déplace parallèlement au sol, de la gauche vers la droite.

2 $t_1 = \frac{RL(0)}{c}$.

3 $t_2 = T_\ell + \frac{RL(T_\ell)}{c}$.

4 $RL(T_\ell) = RL(0) - v T_\ell$.

5 $T_r = t_2 - t_1 = T_\ell + \frac{RL(0) - v T_\ell}{c} - \frac{RL(0)}{c} = T_\ell - \frac{v T_\ell}{c}$ donc $T_r = T_\ell(1 - \beta)$.

Si $v \ll c$, alors $T_r \simeq T_\ell$.

6 Il faut effectuer le changement $v \leftrightarrow -v$ d'où $T_r = T_\ell(1 + \beta)$.

7 Dans la question 5, $\theta = 0$ donc $\cos \theta = 1$ et on retrouve $T_r = T_\ell(1 - \beta)$. Dans la question 6, $\theta = \pi$ donc $\cos \theta = -1$ et on retrouve bien $T_r = T_\ell(1 + \beta)$.

8 Comme $\lambda_r = c T_r$, $\lambda_r = \lambda_\ell(1 - \beta \cos \theta)$. Alors $\Delta \lambda_+ = \lambda_\ell(1 + \beta) - \lambda_\ell$ si bien que $\Delta \lambda_+ = \beta \lambda_\ell$.
De même, $\Delta \lambda_- = -\beta \lambda_\ell$

I.B Application à l'étude du mouvement du satellite LO-19

9 Sur les intervalles de temps considérés, la fréquence captée varie peu. Cela traduit qu'en ces instants, le satellite est proche de l'horizon. Comme sa vitesse est constante et qu'il est le plus éloigné, θ varie peu, si bien que le décalage Doppler, qui est proportionnel à $\cos\theta$, est lui-aussi approximativement constant (ce d'autant plus que la fonction cosinus est de dérivée nulle en 0 et π).

10 Au contraire, la variation de la fréquence captée est maximale lorsque le satellite est le plus proche de l'observateur, c'est-à-dire lorsque $\theta \simeq \pi/2$ (effet accentué par le fait que la dérivée de la fonction cosinus présente un extremum en $\pi/2$).

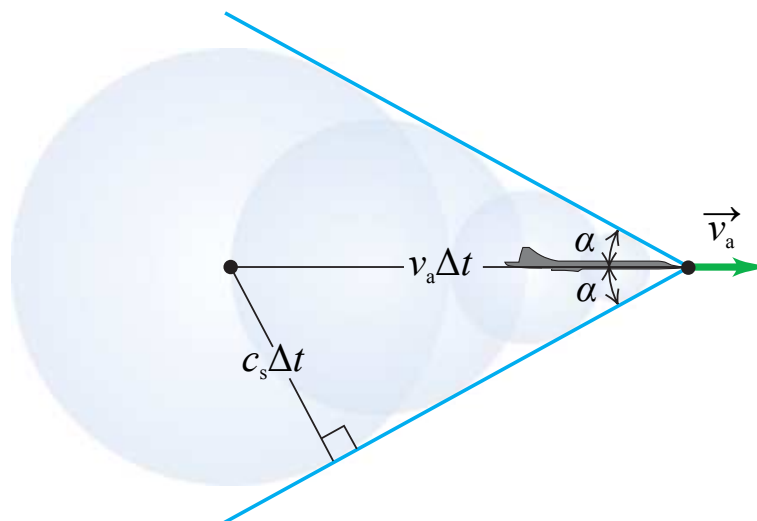
11 La fréquence captée est égale à la fréquence émise lorsque $\cos\theta = 0$, c'est-à-dire en $\theta = \pi/2$. D'après la question précédente, c'est la fréquence en laquelle la pente est extrême sur la figure b soit $437,127 \text{ MHz}$ (utiliser la méthode des tangentes).

12 En utilisant les figures a et b, on constate que deux passages successifs par la position $\theta = \pi/2$ sont séparés de 100 min (15h16 et 16h56). La période orbitale du satellite est donc 100 min .

13 D'après la troisième loi de Kepler (et l'annexe) $\frac{T^2}{r^3} = 9,90 \cdot 10^{-14} \text{ s}^2/\text{m}^3$ (avec r le rayon de l'orbite) donc $r = 7,14 \cdot 10^3 \text{ km}$ (qui est supérieur au rayon de la Terre $\simeq 6 \cdot 10^3 \text{ km}$).

I.C Vitesse d'un avion supersonique

14 En utilisant le raisonnement sur les surfaces d'onde proposées dans le document 1, dans le cas où la vitesse v_a de l'avion par rapport à l'air est supérieure la célérité c_s des ondes sonores, on obtient la construction suivante. Lorsqu'il s'est écoulé une durée Δt entre l'émission d'une ondelette, le rayon de la surface d'onde correspondante est $c_s \Delta t$ alors que la distance parcourue par l'avion est $v_a \Delta t$.



Ainsi, $\frac{c_s}{v_a} = \sin\alpha$, d'où $v_a = \frac{c_s}{\sin\alpha}$. Sur la figure, on mesure $\alpha = \frac{126^\circ}{2} = 63^\circ$ et en faisant l'hypothèse que la célérité des ondes sonores à l'altitude de l'avion est proche de 300 m/s, on obtient $v_a = 3,4 \cdot 10^2 \text{ m/s}$ soit $1,2 \cdot 10^3 \text{ km/h}$. Cette valeur est environ égale à 4 fois la vitesse maximale du TGV.

Partie II – Expérience de Ives-Stilwell

II.A Raies d'émission atomiques

15 D'après le formulaire e^2/ε_0 est en $\text{m}^3.\text{kg}/\text{s}^2$, c'est-à-dire en $\text{N}.\text{m}^2$. Pour avoir des newtons, il faut $\alpha = 2$.

16 $F_{\text{grav}} = \frac{Gm_em_p}{r^2}$ et $F_{\text{elec}} = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$ donc le rapport $\frac{F_{\text{elec}}}{F_{\text{grav}}} = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 Gm_em_p} = 2.10^{39}$. **La force gravitationnelle entre le proton et l'électron est négligeable de la force électrostatique.**

17 On procède comme dans le cours sur le mouvement des satellites. D'après la deuxième loi de Newton appliquée à l'électron dans le référentiel d'étude galiléen, $\frac{v^2}{r} = \frac{e^2}{4\pi m_e \varepsilon_0 r^2}$ donc

$$v^2 = \frac{e^2}{4\pi m_e \varepsilon_0 r}. \text{ Il s'ensuit que } \boxed{E_c = \frac{m_e v^2}{2} = \frac{e^2}{8\pi \varepsilon_0 r}}. \text{ Comme } E_m = E_c + E_p, \boxed{E_m = -\frac{e^2}{8\pi \varepsilon_0 r}}.$$

18 D'après la question 17, $v_n^2 = \frac{e^2}{4\pi m_e \varepsilon_0 r_n} = \frac{n^2 \hbar^2}{m_e^2 r_n^2}$.

Ainsi, $\boxed{r_n = n^2 \frac{\hbar^2 \varepsilon_0}{\pi m_e e^2} = n^2 r_1 \text{ avec } r_1 = \frac{\hbar^2 \varepsilon_0}{\pi m_e e^2}}$.

19 Le rayon r_1 est le rayon de la trajectoire de l'électron lorsque l'atome d'hydrogène est dans l'état fondamental dans ce modèle classique. Cette longueur correspond donc au rayon de l'atome d'hydrogène. En ordre de grandeur $r_1 \simeq 10^{-10}$ m, si bien que $\boxed{h = \sqrt{\frac{\pi m_e r_1 e^2}{\varepsilon_0}} \simeq 10^{-33} \text{ J.s}}$.

20 Comme $r_n = n^2 r_1$, $E_n = -\frac{e^2}{8\pi \varepsilon_0 r_1 n^2}$. Ainsi, $\boxed{E_n = -\frac{\mathcal{E}}{n^2} \text{ avec } \mathcal{E} = \frac{e^2}{8\pi \varepsilon_0 r_1}}$.

21 Lors du processus de désexcitation, c'est le photon qui émis qui emporte la différence $E_p - E_n$. Or, pour un photon, on a $E_p - E_n = hf$ donc $\boxed{f = \frac{\mathcal{E}}{h} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{p^2} \right)}$. Ensuite, comme $\lambda f = c$, il vient

$$\boxed{\lambda = \frac{hc}{\mathcal{E}(1/n^2 - 1/p^2)}}.$$

22 656 nm est **rouge**, 486 nm est entre le bleu et le vert (c'est le **cyan**).

23 On constate que λ est une fonction décroissante de p . On peut tenter de dire que 656,3 nm correspond à la plus petite valeur de $p > 2$ possible, soit $p = 3$; puis, comme les raies sont successives, 486,1 nm correspondrait à $p = 4$; 434,0 nm à $p = 5$; enfin, 410,2 nm à $p = 6$. Pour valider cette hypothèse, il suffit de calculer le rapport $\frac{656,3}{486,1} = 1,350$ et de comparer au rapport $\frac{1/4 - 1/16}{1/4 - 1/9} = 1,350$. L'égalité des deux rapports indique que l'hypothèse était bonne.

24 Pour tirer profit des quatre valeurs de longueurs d'onde fournies, on peut calculer h en utilisant chaque valeur de longueur d'onde, puis calculer la moyenne des quatre valeurs. En utilisant les réponses aux questions 18, 20 et 21, on obtient que

$$h = \left(\frac{\lambda e^4 m_e (1/n^2 - 1/p^2)}{8c \varepsilon_0^2} \right)^{1/3}$$

que l'on calcule pour chaque longueur d'onde:

λ (nm)	656,3	486,1	434,0	410,2
h ($\times 10^{-34}$ J.s)	6,6257	6,6255	6,6254	6,6257

qui conduit à une valeur moyenne de $\boxed{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}}$. On retrouve le même ordre de grandeur qu'à la question 19.

II.B Description de l'expérience de Ives-Stilwell

25 La plaque photographique étant située à droite sur la figure, les photons émis vers la gauche sont réfléchis par le miroir et peuvent impressionner la plaque photographique.

26 À la question 8, on a montré que les raies émises ont pour longueur d'onde $\lambda_0(1 + \beta)$ et $\lambda_0(1 - \beta)$ (en effectuant le changement de notation $\lambda_0 \leftrightarrow \lambda_\ell$). De cette formule, on déduit que la première est décalée de $+\beta\lambda_0 = \frac{v}{c}\lambda_0$ par rapport à λ_0 et la seconde de $-\beta\lambda_0 = -\frac{v}{c}\lambda_0$. On retrouve bien le décalage fourni dans le document 3.

27 Les informations fournies dans le texte du document ne permettent pas d'expliquer l'accélération par un champ électrique, car les atomes d'hydrogène sont neutres électriquement. La force, due au champ électrique s'exerçant sur ces atomes, est donc nulle.

Autre réponse possible: le texte fait mention d'« ions », qui sont chargés électriquement et donc peuvent effectivement être accélérés par un champ électrique; toutefois, le texte ne permet pas de comprendre ce que sont ces « ions ».

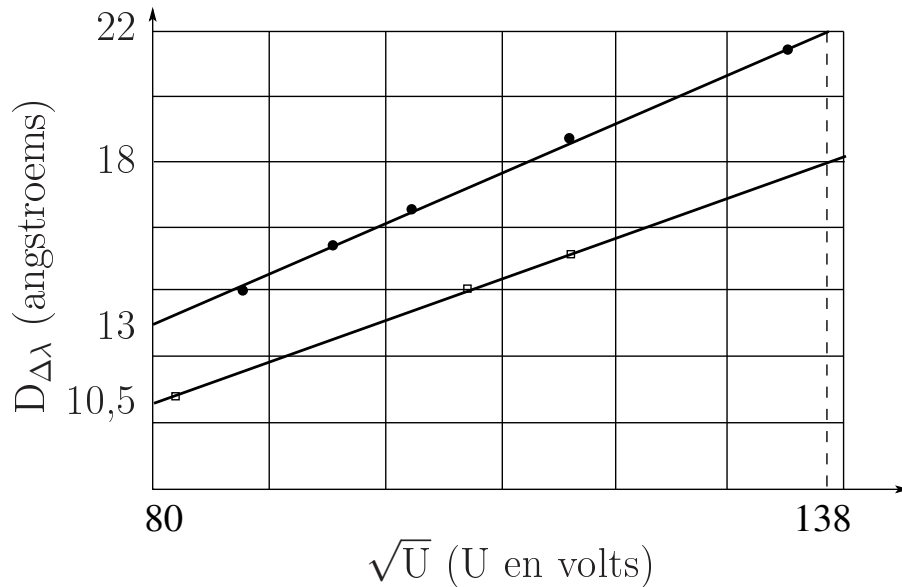
28 On applique le théorème de l'énergie mécanique à un ion dans le référentiel galiléen du laboratoire. Comme le système est conservatif, la variation d'énergie mécanique de l'électron au niveau des deux grilles est nulle si bien que $m\frac{v^2}{2} - 0 = eU$, donc $v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$.

Comme $D_{\Delta\lambda} = \beta\lambda_0$, il vient $\boxed{D_{\Delta\lambda} = a\sqrt{U} \text{ avec } a = \frac{\lambda_0}{c} \sqrt{\frac{2e}{m}}}$.

29 On annule la tension accélératrice (éteindre l'alimentation).

II.C Analyse des résultats

30 Pour chaque ion, on obtient une **droite** ce qui est en accord avec la formule établie à la question 28: $D_{\Delta\lambda} = a\sqrt{U}$ est une droite de pente a . Enfin, on constate que $\frac{22}{138} = \frac{13}{80} = 0,16$ donc le jeu de données en \bullet semblent s'aligner sur une droite passant par l'origine. De même, pour le jeu de données en \square , $\frac{10,5}{80} = \frac{18}{138} = 0,13$, la droite semble également **linéaire**.



31 Comme $m(\text{H}_3) > m(\text{H}_2)$ et que $a \propto m^{-1/2}$, $a(\text{H}_2) > a(\text{H}_3)$. Il s'ensuit que le jeu de données avec le symbole \bullet correspond à l'ion H_2^{+*} , celui avec le symbole \square correspond à l'ion H_3^{+*} .

32 Le rapport des pentes vaut $\frac{0,16}{0,13} = 1,2$. La théorie (formule de la question 28) prédit que ce rapport est égal à $\sqrt{\frac{m(\text{H}_3)}{m(\text{H}_2)}} = \sqrt{\frac{3}{2}} = 1,2$. La valeur du rapport entre des pentes est en parfait accord avec la théorie.

33 Si le décalage mesuré était purement dû à l'effet Doppler classique, comme on aurait pu le croire en observant la figure 3, on aurait dû trouver $S_{\Delta\lambda} = 0$, et le graphe aurait été constitué de points autour de $y = 0$ quelque soit β .

34 Il faudrait connaître les **barres d'erreur sur chaque point**. Si les points sont distants de $y = 0$ de plus de deux fois la barre d'erreur, il est très probable que l'écart obtenu ne soit pas simplement du bruit de mesure.

En pratique, pour réduire les erreurs systématiques, par exemple, on **change l'appareil de mesure**, Pour réduire les incertitudes, on **répète l'expérience de nombreuses fois**, ce qui permet de faire diminuer la taille des barres d'erreur.

Partie III – Chimie en milieu interstellaire

35 L'acétone porte le groupe caractéristique carbonyle -C=O- associé à la fonction cétone. L'éthylène glycol porte deux groupes caractéristiques hydroxyle -OH associés à la fonction alcool.

36 Pour l'ion H_3^+ , $m/z = (3 * m_H)/z_{H_3^+} = (3 * 1)/1 = 3$

Pour l'ion C^{4+} , $m/z = (m_C)/z_{C^{4+}} = 12/4 = 3$

avec m_H et m_C les masses atomiques de H et C en unité de masse atomique.

37 L'énoncé précise que la présence de l'ion C^{4+} implique celle de l'ion C^{3+} . Le pic associé à l'ion C^{3+} doit se trouver à $m/z = m_C/z_{C^{3+}} = 12/3 = 4$. Comme les spectres de masse du document 6 ne présentent pas de pic pour la valeur $m/z = 4$, on peut donc en conclure que les ions C^{3+} et C^{4+} ne sont pas présents dans les échantillons analysés. Le pic $m/z = 3$ est bien associé à l'ion H_3^+ .

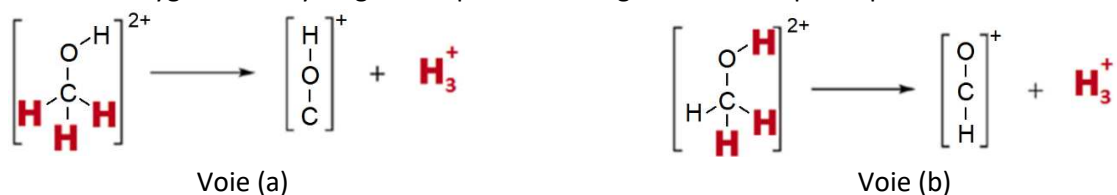
38 D'après le document 4, la formation de H_3^+ à partir de la voie (a) nécessite la présence d'un groupe CH_3 dans la molécule organique de départ. Pour la voie (b), c'est l'enchaînement $CH_2 - RH$ qui doit être présent dans la molécule.

L'acétone possède deux groupes CH_3 . La voie (a) peut donc expliquer la formation de H_3^+ à partir de cette molécule organique. La voie (b) n'est par contre pas envisageable pour l'acétone puisque le motif $CH_2 - RH$ n'est pas présent. Par un raisonnement analogue, on constate que la voie (b) peut expliquer la formation de H_3^+ à partir de l'éthylène glycol, puisque ce dernier possède l'enchaînement $CH_2 - OH$ (O correspond à l'atome R). La voie (a) n'est par contre pas envisageable pour la molécule d'éthylène glycol puisque cette dernière ne possède pas de groupe CH_3 .

39 Dans le spectre de masse 6a, on observe le pic $m/z = 3$ caractéristique de l'ion H_3^+ . D'après la question précédente, cet ion s'est donc formé à partir de l'acétone selon le mécanisme de la voie (a).

L'observation du même pic dans le spectre 6b traduit cette fois-ci la formation de l'ion H_3^+ à partir de l'éthylène glycol selon la voie (b).

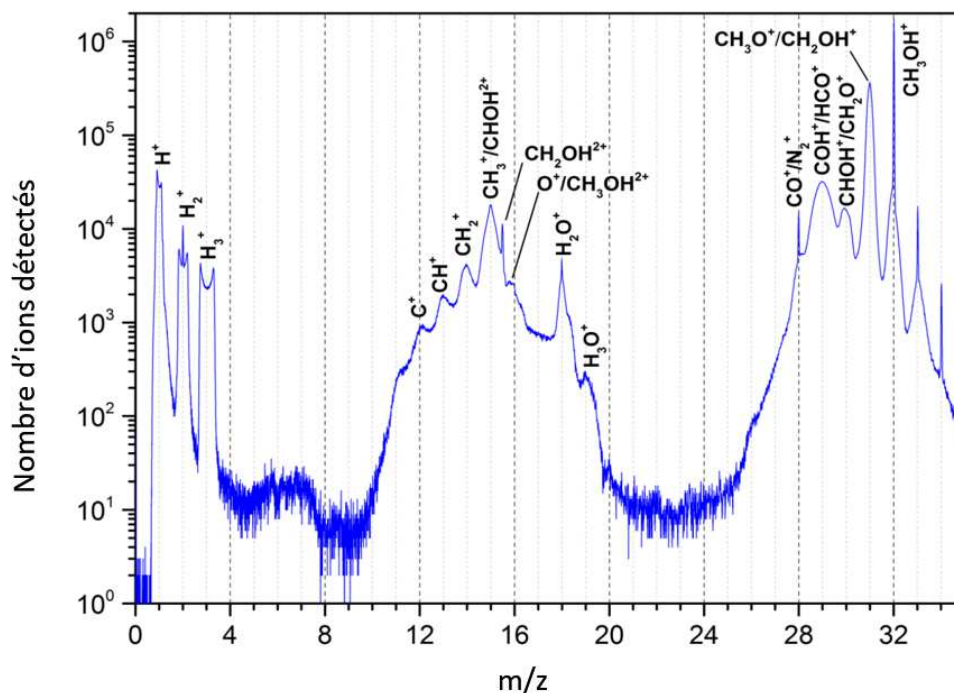
40 On obtient les deux voies de formation de H_3^+ à partir du méthanol en remplaçant l'atome R du document 4 par un atome d'oxygène. Les hydrogènes représentés en gras sont ceux participant à la formation de H_3^+ .



41 Les candidats ont été prévenus en début d'épreuve qu'ils ne devaient pas traiter cette question. Le document 7-a sur lequel il fallait s'appuyer est en effet erroné. Le bon spectre de masse ci-dessous permet d'avancer la réponse suivante à la question posée :

Pour chaque voie, on doit observer sur le spectre de masse un pic $m/z = 3$ associé à la formation de l'ion H_3^+ , ainsi qu'un pic $m/z = (12 + 16 + 1)/1 = 29$ associé à la formation de COH^+ pour la voie (a) et HCO^+ pour la voie (b). Le spectre de masse ci-dessous obtenu après ionisation de la molécule de méthanol contient bien deux pics aux valeurs $m/z = 3$ et $m/z = 29$. Il n'est cependant pas possible de savoir s'ils

correspondent aux produits de la voie (a) ou de la voie (b) puisque ces derniers ont la même valeur m/z . La réalisation de l'expérience sur le méthanol deutéré va permettre de résoudre ce problème.



42 Le noyau d'hydrogène ^1_1H possède un proton alors que celui du deutérium ^2_1H contient un proton et un neutron. Ce sont des isotopes.

La masse des électrons est négligeable devant la masse du noyau dans un atome. De plus, la masse d'un proton est environ égale à la masse d'un neutron. D'après la composition des noyaux ^1_1H et ^2_1H , on peut donc en déduire que la masse d'un atome de deutérium est environ égale à deux fois la masse d'un atome d'hydrogène.

43 Les deux voies de formation de H_3^+ à partir du méthanol deutéré sont représentées ci-dessous.



Les valeurs m/z des produits formés sont cette fois-ci différentes pour les deux voies :

La voie (a) mène à la formation de H_3^+ ($m/z = 3$) et COD^+ ($m/z = (12 + 16 + 2)/1 = 30$).

La voie (b) mène à la formation de H_2D^+ ($m/z = (2 * 1 + 2)/1 = 4$) et HCO^+ ($m/z = (1 + 12 + 16)/1 = 29$). On observe ces 4 pics sur le spectre de masse 7b. Ce dernier est donc compatible avec l'observation des deux voies de synthèse (a) et (b) pour la formation de H_3^+ à partir du méthanol deutéré.

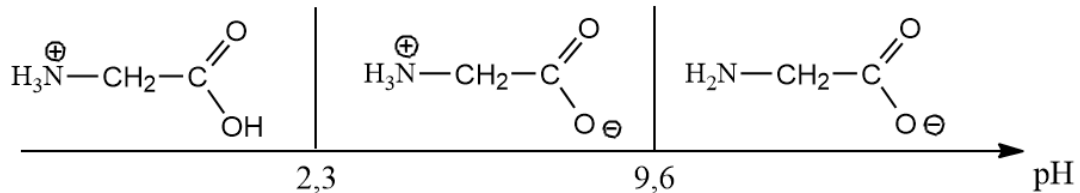
44 Une entité chimique donneuse d'ions H^+ est un acide. L'oxygène va capter l'ion H^+ libéré par H_3^+ lors de la première étape. Il s'agit d'une base.

45 La poussière permet d'accélérer la réaction de formation d'eau. C'est donc un catalyseur. C'est un solide alors que les réactifs O et H sont initialement à l'état gazeux. On parle donc de catalyseur hétérogène.

46] Lors du processus de physisorption, les atomes vont se fixer à la surface de la poussière grâce à des interactions de Van der Waals.

47] Les formes L et D sont images l'une de l'autre dans un miroir plan. Ce sont donc des énantiomères. Chaque forme n'est pas superposable à son image dans un miroir plan. Les deux molécules L et D sont donc chirales.

48] On peut établir le diagramme de prédominance de la glycine à l'aide des pK_a fournis en annexe.



Pour que la forme zwitterionique de la glycine prédomine, il faut que le pH de la solution aqueuse soit compris entre 2,3 et 9,6. L'espèce prédominante est $\text{NH}_3^+ - \text{CH}_2 - \text{COOH}$ si le pH est inférieur à 2,3. Pour un pH supérieur à 9,6, c'est la forme $\text{NH}_2 - \text{CH}_2 - \text{COO}^-$ qui prédomine.

49] Un mélange racémique est un mélange de deux énantiomères en proportions égales.

50] Le document 9 explique que la quasi-totalité des acides aminés présents sur Terre ne sont présents que sous leur forme L. On n'observe donc qu'un seul énantiomère pour chaque acide aminé d'origine terrestre. La réaction de Strecker du document 10 proposée pour expliquer la formation des acides aminés d'origine extra-terrestre montre qu'on obtient un mélange racémique pour chaque acide aminé. Pour déterminer si un échantillon de météorite a subi une contamination terrestre, il faut déterminer la proportion de chaque énantiomère d'un acide aminé présent dans l'échantillon. Si on obtient une proportion 50/50, on a bien un mélange racémique. Dans le cas contraire, on peut en conclure que l'échantillon a subi une contamination par des acides aminés d'origine terrestre.

Cette méthode n'est pas adaptée pour la glycine (R=H) car cette molécule n'est pas chirale. Elle ne possède donc pas deux formes L et D contrairement aux autres acides aminés.

51] La solution de soude est obtenue par dissolution de NaOH solide dans une fiole jaugée avec de l'eau distillée. D'après le document 11, la réalisation du titrage nécessite un volume de 20 mL de solution titrante auquel va s'ajouter un volume supplémentaire pour rincer la burette avant le titrage. On peut donc utiliser une fiole de 100 mL (volume courant pour ce type de verrerie) pour réaliser la dissolution.

On peut ensuite calculer la masse de NaOH à introduire dans la fiole pour obtenir la bonne concentration :

$$C_{\text{soude}} = \frac{n_{\text{NaOH}}}{V_{\text{solution}}} = \frac{m_{\text{NaOH}}}{M_{\text{NaOH}} V_{\text{solution}}}$$

$$\text{Ainsi, } m_{\text{NaOH}} = C_{\text{soude}} M_{\text{NaOH}} V_{\text{solution}} = 0,20 * 40 * 0,100 = 0,80g$$

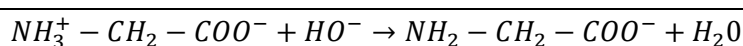
Protocole :

La soude étant corrosive, on réalise la manipulation en portant une blouse, des lunettes de sécurité et des gants. Peser 0,80 g de NaOH et les introduire dans une fiole jaugée de 100 mL à l'aide d'un entonnoir à solide. Ajouter de l'eau distillée jusqu'aux deux tiers de la fiole et agiter jusqu'à dissolution complète du solide. Compléter avec de l'eau distillée jusqu'à ce que le bas du ménisque soit au niveau de trait de jauge. Boucher et homogénéiser la solution.

52 La concentration d'une solution titrante doit être connue précisément pour pouvoir l'utiliser dans un titrage. C'est pourquoi on a pour habitude de vérifier sa concentration en la titrant juste avant son utilisation. De plus, les pastilles de soude utilisées pour faire des solutions d'hydroxyde de sodium sont hygroscopiques. La pesée des 0,80 g de NaOH risque donc d'être faussée par la présence d'humidité dans le solide. Il est donc nécessaire de vérifier la concentration de la solution par un titrage préliminaire.

53 La courbe $\text{pH}=\text{f}(\text{V})$ du document 11, montre que la solution présente un pH égal à 6 avant le début du titrage. D'après le diagramme de prédominance, la glycine se trouve donc sous sa forme zwitterionique.

54 Lors du titrage, la base HO^- va réagir avec la partie acide $-\text{NH}_3^+$ du zwitterion. L'équation de réaction support du titrage est donc :



55 Le volume équivalent de soude peut être déterminé soit avec la méthode des tangentes, soit en lisant la valeur de V pour laquelle la courbe de la dérivée passe par son maximum. La méthode de la dérivée donne ici une valeur plus précise du volume à l'équivalence car le saut de pH est peu marqué pour ce titrage. On lit donc $V_{eq} = 7,4 \text{ mL}$.

À l'équivalence, les réactifs sont introduits dans les proportions stœchiométriques.

$$C_{\text{soude}}V_{eq} = C_{\text{glycine}}V_{\text{titré}}$$

$$C_{\text{glycine}} = \frac{C_{\text{soude}}V_{eq}}{V_{\text{titré}}} = \frac{0,20 * 7,4}{10,0} = 0,15 \text{ mol. L}^{-1}$$

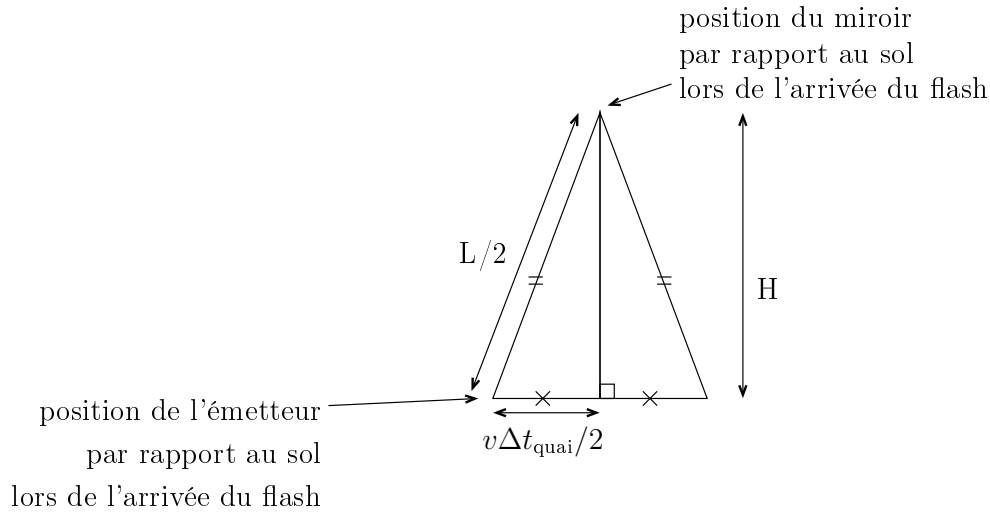
Partie III – L'effet Doppler relativiste

III.A Approche intuitive des équations de la relativité restreinte

56 Dans le cadre de la théorie de la relativité restreinte, Einstein postula initialement que **la célérité de la lumière dans le vide est c dans tout référentiel galiléen.**

57
$$\Delta t_{\text{train}} = \frac{2H}{c}.$$

58 Notons L longueur du trajet pour l'observateur sur le quai.



Alors $L = 2\sqrt{(v\Delta t_{\text{quai}})^2/4 + H^2}$ d'après le théorème de Pythagore. Par ailleurs, $L = c\Delta t_{\text{quai}}$.

59 En éliminant L de ces deux égalités, on obtient $(c\Delta t_{\text{quai}})^2/4 = (v\Delta t_{\text{quai}})^2/4 + H^2$. Comme $2H = c\Delta t_{\text{train}}$ (cf question précédente), on aboutit à $\Delta t_{\text{quai}} = \gamma\Delta t_{\text{train}}$.

La durée propre est la **durée entre deux évènements, mesurée dans le référentiel galiléen dans lequel ces deux évènements se produisent au même point.**

Ici, la durée propre est Δt_{train} . Si $\gamma \neq 1$, $\Delta t_{\text{quai}} \neq \Delta t_{\text{train}}$ cependant que la célérité de la lumière est la même dans les deux référentiels. *Autre interprétation possible:* comme $\gamma \geq 1$, la durée propre est toujours la plus courte des durées mesurées entre deux évènements. *Ou encore...*

60 On sait que $\frac{\Delta t_{\text{quai}}}{\Delta t_{\text{train}}} = \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$, numériquement $\frac{\Delta t_{\text{quai}}}{\Delta t_{\text{train}}} - 1 \simeq 10^{-14}$ pour une vitesse d'une centaine de kilomètres par heure. Dans un train réel, cet écart n'est **pas détectable**.

III.B Retour sur l'expérience de Ives-Stilwell

61 D'après la question 59, si on note T_0 la période d'émission de la source dans son référentiel propre, alors sa période d'émission dans le référentiel du sol est γT_0 et la longueur d'onde correspondante dans le référentiel du sol est $\gamma \lambda_0$ (puisque $c = \lambda/T$). **Par conséquent, dans le référentiel du sol, tout se passe comme si la source émettait à la longueur d'onde $\gamma \lambda_0$.**

62 On peut alors appliquer les formules établies au paragraphe I.A, à condition de remplacer λ_ℓ par $\gamma \lambda_0$. Ainsi, $\lambda_\pm = \gamma \lambda_0(1 \pm \beta)$ et $\Delta\lambda_\pm = \gamma \lambda_0(1 \pm \beta) - \lambda_0$. Alors $S_{\Delta\lambda} = \lambda_0(\gamma - 1)$.

63 Avec le formulaire, $S_{\Delta\lambda} \simeq \lambda_0 \left(1 + \frac{\beta^2}{2} - 1\right)$, si bien que $S_{\Delta\lambda} \simeq \frac{\lambda_0 \beta^2}{2}$.

D'après la figure 4, $\beta^2 \simeq 10^{-6} - 10^{-5}$ qui est bien très petit devant 1.

64 Calculons $\frac{\lambda_0 \beta^2}{2}$ pour quelques valeurs de β :

$\beta(\times 10^{-3})$	2	3	4
$\lambda_0 \beta^2/2$ (pm)	0,97	2,2	3,9

On constate un bon accord avec les points expérimentaux (il faudrait les barres d'erreur pour conclure). La correction relativiste semble permettre d'expliquer l'écart mesuré.

III.C Décomposition du contenu spectral de la lumière émise

65 Il faut placer la **source lumineuse au foyer objet** de la lentille.

66 Il faut placer l'**écran dans le plan focal image de la lentille**. Il n'y a pas de contrainte due à la lentille sur la distance réseau-lentille. Pour réduire l'encombrement du système, on a donc intérêt à positionner la **lentille au plus près du réseau**.

67 La différence de marche doit être égale à un multiple entier de la longueur d'onde (pour que les deux ondes soient à tout instant dans le même état vibratoire lorsqu'elles atteignent l'écran), c'est-à-dire qu'il existe un entier relatif n tel que $a \sin \theta = n\lambda$.

68 Pour les rayons émergeant des fentes 1 et 2, il existe un entier n tel que $a \sin \theta = n\lambda$. Alors pour les fentes 2 et 3, on a $a \sin \theta = n\lambda$ (même n que pour les fentes 1-2). Ainsi, entre les fentes 1 et 3, on a la relation $a \sin \theta = 2n\lambda$, ce qui prouve que les ondes issues des fentes 1 et 3 interfèrent constructivement. Ainsi, **de proche en proche, tous les rayons du faisceau parallèle interfèrent constructivement sur l'écran**.

69 D'après la formule établie à la question 67 (valable pour trouver les maxima pour les fentes de Young, comme pour le réseau), pour $n = 0$ un maximum est observé en $\theta = 0^\circ$. Pour $n = \pm 1$, on obtient un maximum d'intensité en $\theta = \pm \arcsin\left(\frac{\lambda}{a}\right) = \pm 29^\circ$. On retrouve bien les valeurs observées sur la courbe simulée.

70 **Maxima au mêmes valeurs de θ** (0° et $\pm 29^\circ$) pour les deux courbes. En revanche, l'énergie lumineuse est répartie sur des **valeurs d'angle plus étroites pour le réseau** que pour les deux fentes. Cela a pour conséquence que les zones lumineuses sont plus étroites et beaucoup **plus intenses** (les maxima sont 64 fois plus intenses pour le réseau que pour les fentes de Young). On peut donc **positionner plus précisément les maxima d'intensité lumineuse**.

71 Comme $\delta\lambda = \frac{\lambda}{R} = \frac{4,86 \cdot 10^{-7}}{17,8 \times 5,91 \cdot 10^3} = 4,62 \cdot 10^{-12}$ m pour le réseau utilisé. Pour tracer la figure 4, il faut une résolution supérieure au picomètre, le montage proposé sur la figure 5 **ne permet pas le tracé des points** expérimentaux sur la figure 4 (il faudrait gagner un facteur 5 sur la résolution) **en un mesurage**. Le facteur 5 peut être gagné, en répétant les mesurages, à l'aide d'un **traitement statistique**.