

COMPOSITION n°1 de PHYSIQUEPremières S¹, S², S³, S⁴ & S⁵

Durée : 3h00

calculatrice autorisée

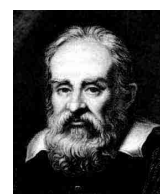
PARTIE 1 – Capter la lumière**Doc 1 – Bref historique de la lunette astronomique**

• L'invention de la lunette astronomique n'est pas précisément attribuée. Certains écrits de Leonard Digges laissent supposer qu'il avait mis au point un prototype dès les années 1550, mais les premiers exemplaires explicitement décrits viendraient d'Italie (vers 1590) ou du nord de l'Europe (Pays-Bas vers 1608). Le philosophe et mathématicien **R.Descartes** parle de cette invention au début de son ouvrage intitulé «*Dioptrique*» :

« Mais, à la honte de nos sciences, cette invention, si utile et si admirable, n'a premièrement été trouvée que par l'expérience et la fortune. Il y a environ trente ans, qu'un nommé Jacques Metius, de la ville d'Alkmaar en Hollande, homme qui n'avait jamais étudié, bien qu'il eût un père et un frère qui ont fait profession des mathématiques, mais qui prenait particulièrement plaisir à faire des miroirs et verres brûlants, en composant même l'hiver avec de la glace, ainsi que l'expérience a montré qu'on en peut faire, ayant à cette occasion plusieurs verres de diverses formes, s'avisa par bonheur de regarder au travers de deux, dont l'un était un peu plus épais au milieu qu'aux extrémités, et l'autre au contraire beaucoup plus épais aux extrémités qu'au milieu, et il les appliqua si heureusement aux deux bouts d'un tuyau, que la première des lunettes dont nous parlons, en fut composée. »



R.Descartes (1596-1650)



Galilée (1564-1642)

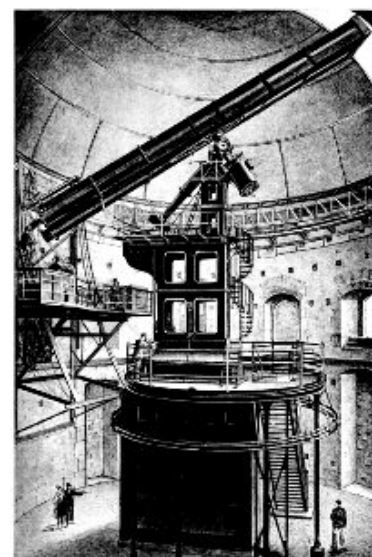
• Dès que la lunette fut connue et commença à se répandre, plusieurs personnes, dont Thomas Harriot et Christoph Scheiner, la tournèrent vers le ciel au début de 1609 pour observer les objets célestes. Mais c'est **Galilée** qui établit véritablement la lunette comme instrument d'observation astronomique par l'ensemble de ses observations célestes et surtout par le regard neuf qu'il portait sur le ciel et les objets qu'il observait. Il construisit ses propres lunettes et leur donna d'abord un grossissement de six, pour le porter progressivement à 20 puis à 30.

Doc 2 – La grande lunette de l'observatoire de Meudon

La grande lunette de Meudon qui est restée en fonction jusqu'en 1991 a régné un siècle sur l'astronomie. Cet instrument fut l'un des plus grand de son temps. C'est l'astrophysicien Jules Janssen qui, à la fin du XIX^e siècle, dota l'astronomie française de cette très grande lunette astronomique, dont l'audace frisait la limite des ressources techniques, industrielles et artisanales de l'époque.

Cette lunette est constituée de deux lentilles minces convergentes. L'objectif L₁ est une lentille de grande distance focale ($f_1 = 16,000$ m) et de grand diamètre d'ouverture ($D = 80,00$ cm). L'oculaire L₂ est une simple loupe de faible distance focale ($f_2 = 0,040$ m). Les axes optiques principaux de L₁ et L₂ sont confondus et constituent l'axe optique de la lunette. L'objectif est braqué vers l'objet astronomique observé et l'œil de l'observateur se place derrière l'oculaire.

On règle la lunette en faisant varier la distance O₁O₂ entre les deux centres optiques O₁ et O₂ des deux lentilles L₁ et L₂.



Grande coupole de Meudon et sa lunette

- 1 . De quel type d'objet parle Descartes lorsqu'il mentionne les « verres brûlants ».
- 2 . Que représentent les verres « un peu plus épais au milieu qu'aux extrémités » et « beaucoup plus épais aux extrémités qu'au milieu ». Qu'est-ce qui différencie ces deux « verres » ? Qu'ont-ils en commun ?

• *Le diamètre apparent d'un objet est l'angle θ sous lequel un observateur voit l'objet.*

Un observateur terrestre situé à l'observatoire de Meudon observe à l'œil nu la Lune. Il sait que le diamètre lunaire vaut $D_L = 1,72 \cdot 10^3$ km et que la distance Terre-Lune est $D_{TL} = 3,67 \cdot 10^5$ km.

- 3 . Montrer que le diamètre apparent de la Lune pour cet observateur est de $\theta = 0,269^\circ$.

• *On considère deux points A et B de la Lune, diamétralement opposés. L'observateur braque la grande lunette de l'observatoire dans la direction du point A.*

- 4 . Pourquoi les faisceaux lumineux issus des points A et B et qui pénètrent dans la lunette sont parallèles ?

• *Pour l'objectif L_1 , la Lune constitue un objet AB « à l'infini ».*

- 5 . Où se situe l'image A_1B_1 de cet objet AB à travers l'objectif L_1 ? Retrouver ce résultat en calculant la distance O_1A_1 à l'aide de la relation de conjugaison.

- 6 . Compléter le **schéma 1 de l'annexe** en traçant l'image A_1B_1 de AB à travers l'objectif L_1 et en faisant figurer θ ainsi que A et B.

• *L'observateur a réglé sa lunette de telle manière que la distance O_1O_2 qui sépare les centres optiques de l'objectif et de l'oculaire vaille 16,030 m. On nomme A_2B_2 l'image de A_1B_1 à travers la lentille L_2 (oculaire).*

- 7 . Sans effectuer de calculs et en s'aidant éventuellement d'un schéma, prévoir les caractéristiques de l'image A_2B_2 de A_1B_1 à travers l'oculaire.

- 8 . En utilisant la relation de conjugaison, déterminer la position O_2A_2 de cette image.

• *Pour éviter d'avoir à accommoder, l'observateur modifie légèrement la distance O_1O_2 qui sépare les deux lentilles.*

- 9 . Après avoir rappelé le principe de l'accommodation de l'œil, dire comment l'observateur va modifier cette distance et pour quelle raison ?

• *On suppose que la lunette est réglée de telle manière que les deux lentilles L_1 et L_2 soient séparées de 16,040 m.*

- 10 . Que peut-on dire du plan focal image de L_1 et du plan focal objet de L_2 ? Où se situe l'image A_1B_1 de AB à travers l'objectif L_1 ? Où se situe l'image A_2B_2 de A_1B_1 à travers l'oculaire L_2 ?

- 11 . Compléter le **schéma 2 de l'annexe** en traçant les deux faisceaux lumineux issus des points A et B qui traversent la lunette astronomique.

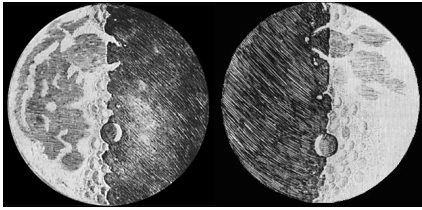
• *On note θ' l'angle sous lequel l'astrophysicien voit l'image A_2B_2 de la Lune à travers la lunette. Par définition, le grossissement de la lunette est égal au rapport θ' / θ . (Donnée : $\tan a \approx a$ si a est petit).*

- 12 . Montrer que ce grossissement peut aussi s'exprimer comme étant le rapport f_1 / f_2 des distances focales de l'objectif et de l'oculaire.

• *Grâce au grossissement d'un tel instrument, Galilée a été capable de décrire avec précision le relief lunaire. Que se passe-t-il si l'on cherche à observer des étoiles très éloignées de la Terre de telle sorte que leurs diamètres apparents θ soient pratiquement nuls ? L'observateur de ces étoiles, même à travers une*

lunette très grossissante, conservera leur apparence sous forme de points lumineux car θ' demeurera très faible.

Dessins de la Lune de Galilée



Ciel étoilé

13 . Dans ce cas-là précis, quel est l'intérêt de la lunette ?

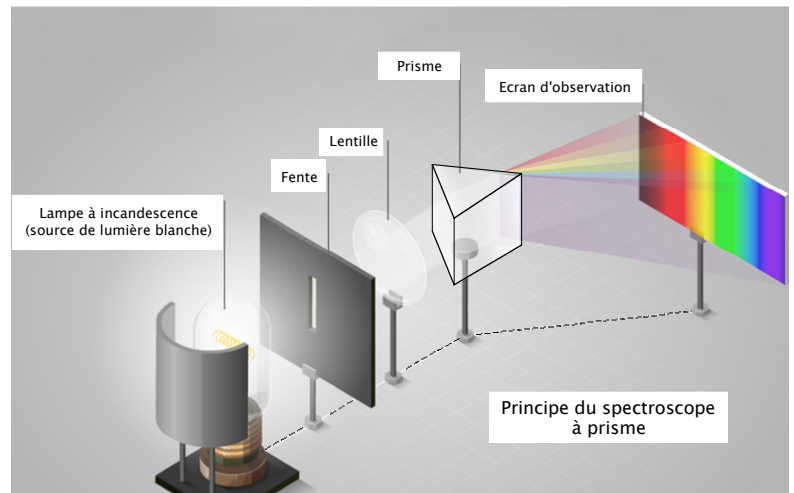
PARTIE 2 – Analyser la lumière

Doc 3 – Analyser la lumière avec un spectroscope

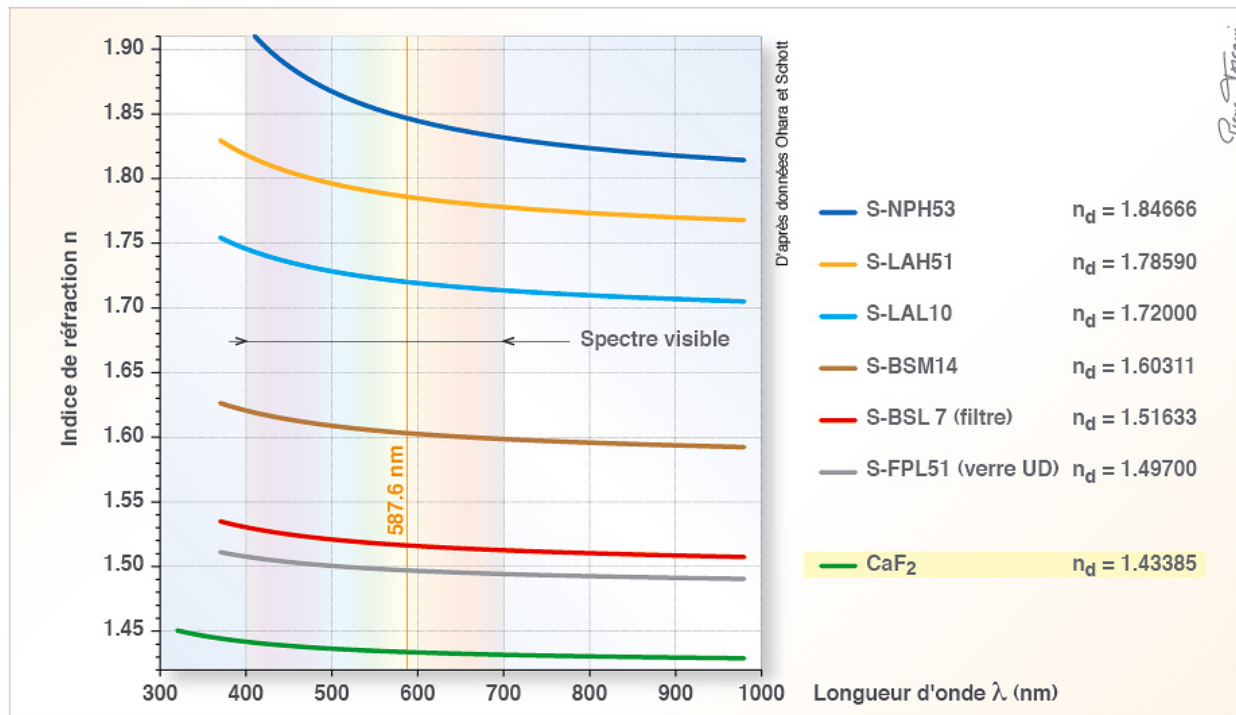
- L'indice n d'un milieu transparent est le nombre sans dimension défini, pour une lumière monochromatique de fréquence donnée en propagation dans ce milieu, par le rapport entre sa célérité c_0 dans le vide et sa célérité v_{milieu} dans le milieu :

$$n_{\text{milieu}} = \frac{c_0}{v_{\text{milieu}}}$$

- Un milieu matériel est dit « dispersif » si la célérité d'une onde sinusoïdale en propagation dans ce milieu dépend de sa fréquence.



Les prismes utilisés dans les spectroscopes ne sont pas taillés dans des verres ordinaires. On choisit des matériaux plus dispersifs que le verre ordinaire pour permettre une séparation plus importante des radiations colorées. Les graphiques ci-dessous montrent l'évolution de l'indice de différents types de verres selon la longueur d'onde dans le vide des radiations lumineuses qui s'y propagent :



Doc 4 – Spectre de Fraunhofer

- En 1814, le physicien allemand **Joseph Fraunhofer** (1787-1826), profitant de la bonne qualité optique de ses lunettes astronomiques et de son spectroscope, fait une mesure précise de la position de plusieurs centaines de ces raies sombres observées dans le spectre du Soleil par **William Hyde Wollaston**, au début du XIX^{ème} siècle.

Il nota les raies les plus intenses par des lettres, en particulier les deux raies très serrées, notées D, dans le jaune. Toutefois il n'expliqua pas l'origine de ces raies

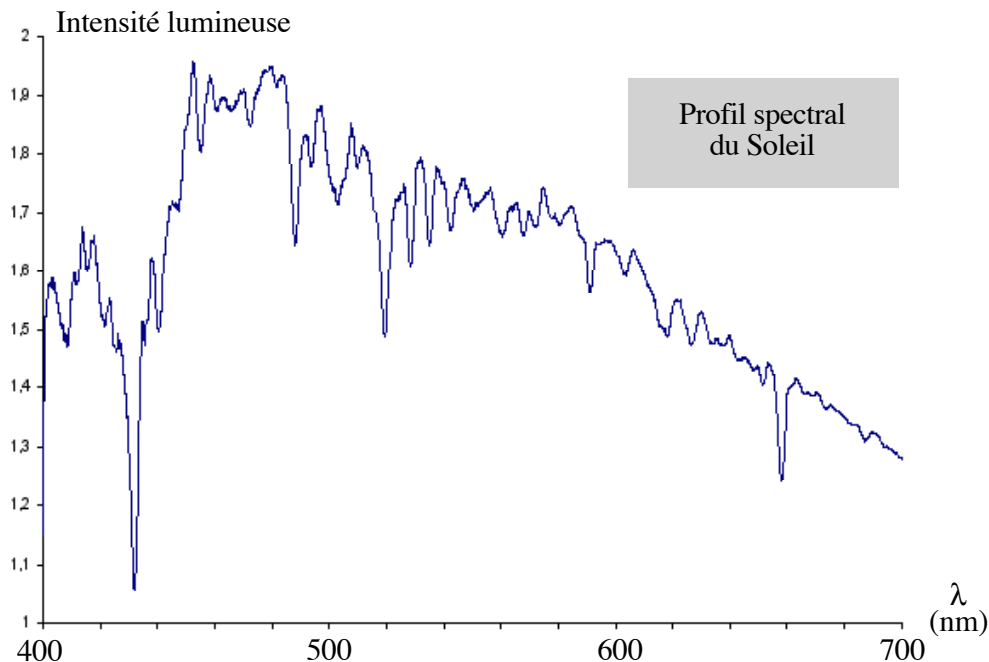
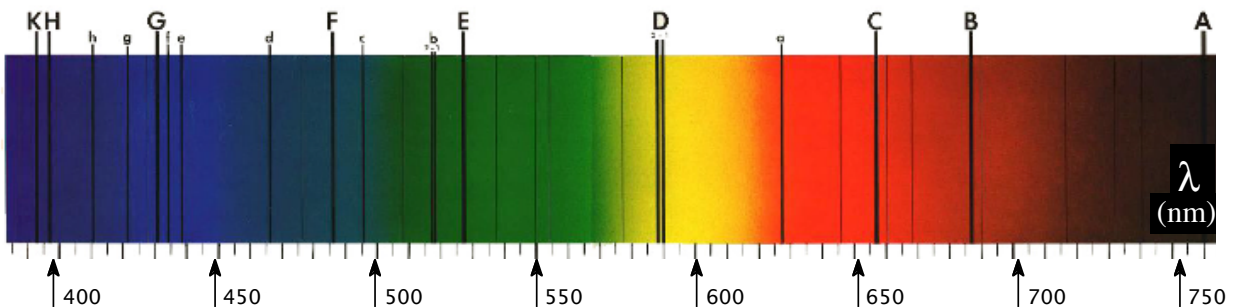


W.H.Wollaston



F.Fraunhofer

- Le soleil peut être modélisé par un corps dont la température de surface vaut $T = 6.10^3$ K (la photosphère) entourée d'une atmosphère (la chromosphère) constituée d'atomes et d'ions monoatomiques. L'analyse spectroscopique de la lumière que nous envoie le Soleil peut-être représentée par le graphique ci-dessous :



- En 1893, **Wilhelm Wien** (1864-1928) montre expérimentalement que la température T d'un corps chaud et la longueur d'onde λ_{\max} de la radiation émise par ce corps avec la plus grande intensité sont liés par la relation suivante :

$$\lambda_{\max} T = K$$

avec

$$K = 2,89.10^{-3} m.K$$

Doc 5 – Etude de la double raie du sodium

• En 1859 le physicien allemand **Gustav Kirchhoff** (1824 – 1887), et le chimiste **Robert Bunsen** (1811 – 1899) s'intéressent à ce couple de raies sombres dans le spectre solaire, qui avaient été découvertes par Fraunhofer, baptisées raies D. Elles coïncident avec la double raie caractérisant le sodium. Bunsen et Kirchhoff placent devant la fente d'admission de la lumière du soleil une flamme contenant du sodium. Ils sont persuadés que les doubles raies brillantes du sodium vont rendre encore plus brillantes celles du spectre du soleil, suivant le principe d'addition des lumières. Le résultat de l'expérience est exactement inverse.



G.Kirchhoff



R.Bunsen

Ils mettent en évidence qu'un gaz chaud sous basse pression émet non pas un spectre continu mais une série de raies et que cette série de raies est propre à la composition chimique de ce gaz : un gaz à base de sodium n'émet pas les mêmes raies qu'un gaz à base de mercure.

En cherchant à superposer la lumière blanche et la lumière provenant de la raie d'émission du sodium, Kirchhoff découvre le phénomène de renversement des raies : le sodium présent dans la flamme absorbe la radiation jaune de la lumière blanche. Il découvre presque par hasard ce phénomène.

Le résultat remarquable qu'il obtient est qu'un gaz émet et absorbe des raies de mêmes couleurs !

• Enoncé des lois de Kirchhoff :

1^{ère} loi : « Un gaz à pression élevée, un liquide, s'ils sont chauffés, émettent un rayonnement qui contient toutes les couleurs »

2^{ème} loi : « Un gaz chaud, à basse pression, émet un rayonnement uniquement pour certaines couleurs liées à sa composition chimique »

3^{ème} loi : « Un gaz, à basse pression et à basse température, s'il est situé entre un observateur et une source de lumière blanche, absorbe certaines couleurs »

Doc 6 – Longueurs d'ondes de quelques raies d'émission, dans le visible, d'atomes et d'ions

Atome ou ion	Longueur d'onde de quelques raies d'émission (nm)			
hydrogène	410,2	434,0	486,13	656,2
Hélium	587,6			
Fer	358,1	382,0	466,8	527
Sodium	590			
Ion calcium	393	397		
Ion potassium	460	530	611	

1 . Déterminer graphiquement la longueur d'onde λ_{\max} de la radiation émise par le Soleil avec la plus grande intensité ? Pour répondre à cette question, on superposera sur le profil spectral du Soleil (document 4) son profil spectral général (profil spectral d'un *corps noir* porté à la même température).

2 . En déduire la température de surface de l'étoile en K puis en °C .

3 . Comment évolue le spectre d'émission d'un corps au fur et à mesure que sa température augmente ? Justifier en utilisant la loi de Wien.

4 . Comment nomme-t-on le spectre du document 4 (spectre de Fraunhofer) ?

5 . Quelle est l'origine du fond continu de lumière du spectre du document 4 ?

6 . Etablir un tableau donnant les valeurs des longueurs d'onde des raies repérées par les lettres B, C, D, E, F et G du spectre du document 4.

7 . Interpréter la présence des raies sombres B, C, D, E, F et G sur le spectre de Fraunhofer.

• Pour analyser le spectre du Soleil, un astrophysicien utilise un spectroscopie dont le prisme est en verre S-NPH53. On considère une radiation de longueur d'onde dans le vide $\lambda_0 = 587,6 \text{ nm}$.

8 . Que vaut l'indice de réfraction du verre S-NPH53 pour cette radiation ?

9 . Calculer la vitesse de propagation de la radiation de longueur d'onde dans le vide $\lambda_0 = 587,6 \text{ nm}$, dans le prisme du spectroscopie. (donnée : vitesse de la lumière dans le vide : $c_0 = 3,00.10^8 \text{ m.s}^{-1}$)

10 . Calculer l'énergie du photon associé à cette radiation. En déduire sa fréquence.

11 . Calculer la longueur d'onde λ de la radiation dans le prisme en verre S-NPH53.

12 . A quoi s'attendaient Kirchhoff et Bunsen lors de leur première expérience avec le spectre solaire et le sodium ? Quel phénomène observent-ils finalement ? comment nomme-t-on le spectre observé ?

13 . Chaque loi énoncée par Kirchhoff définit un type de spectre. Préciser lequel.

14 . Expliquer la phrase en justifiant : « *un gaz émet et absorbe des raies de mêmes couleurs* » .

PARTIE 3 – Modéliser l'interaction lumière / matière

Doc 6 – Spectre de l'atome d'hydrogène

• Durant les XVIII^e et XIX^e siècles, on mesure, par spectroscopie, des spectres de différentes sources lumineuses comme la lampe à hydrogène. Depuis **Thomas Melville** en 1750, on a observé que ces spectres sont formés de *raies*.

En particulier, le spectre de l'atome d'hydrogène est étudié très précisément, notamment par **Anders Angström** qui mesure en 1862 les longueurs d'ondes des raies dans le domaine du visible. Cette étude est reprise en 1885 par **Johannes Balmer** qui propose une notation pour les raies, en partant de celle de plus grande longueur d'onde.

Notation usuelle	λ (nm)
H_ϵ	397
H_δ	410
H_γ	434
H_β	486
H_α	656

• D'autres séries sont ensuite découvertes : la série de **Lyman** dans l'ultraviolet et la série de **Paschen** dans l'infrarouge sont les principales. L'ensemble est généralisé par une formule proposée par **Johannes Rydberg** dès 1888, qui exprime toutes les radiations susceptibles d'être émises par l'atome d'hydrogène :

$$\frac{1}{\lambda} = \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{p^2} \right) \times R_H$$

Dans cette formule, la longueur d'onde λ de la radiation est en mètres (m), p et m sont des nombres entiers positifs tels que $m < p$, et R_H est une constante, appelée constante de Rydberg. Cette formule empirique induisait une quantification des raies d'émissions possibles. Elle ne fut expliquée qu'en 1913 par l'introduction du modèle de Bohr, qui quantifie l'énergie à l'échelle atomique.

Doc 7 – Modèle atomique de Niels Bohr

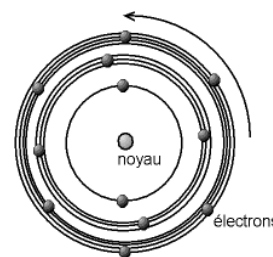
• En 1913, **Niels Bohr**, propose un modèle général de l'atome où seules certaines orbites électroniques sont possibles, ce qui entraîne la quantification de l'énergie de l'atome. Il effectue le calcul exact des énergies des différents niveaux de l'atome d'hydrogène, le plus simple de tous. Ainsi, l'énergie E_n du niveau numéro n de l'atome d'hydrogène s'écrit, selon la formule de Bohr :

$$E_n = -\frac{E_I}{n^2}$$



avec n un entier supérieur ou égal à 1 et E_I est une constante appelée énergie d'ionisation de l'hydrogène, telle que $E_I = 13,6 \text{ eV}$. E_n est exprimée en électronvolt dans cette formule.

- Bohr est ainsi le premier à pouvoir expliquer l'origine du caractère discret des spectres d'origine atomique par l'émission d'un photon d'énergie égale à une transition énergétique possible de l'atome. Il établit notamment que les cinq raies de la série de Balmer dans le domaine du visible correspondent à la transition des niveaux d'énergie numéro 7 à 3 vers le niveau d'énergie numéro 2. Par exemple, la raie nommée H_α , la plus lumineuse de l'hydrogène, est due à la transition énergétique du niveau 3 vers le niveau 2. La raie H_β correspond à la transition du niveau 4 vers le niveau 2, etc... De façon similaire, la série de Paschen dans l'infrarouge correspond à des transitions énergétiques des niveaux d'énergie 7 à 4 vers le niveau 3.



Schématisation du modèle de Bohr (1913)

La série de Lyman, quant à elle, correspond aux transitions des différents niveaux excités vers le niveau fondamental $n = 1$.

Aujourd'hui le modèle de l'atome de Bohr est obsolète, mais la formule exprimant l'énergie de l'atome d'hydrogène est toujours valide.

1. Représenter sur l'annexe (schéma n°3) le spectre d'émission de l'atome d'hydrogène dans le domaine visible, à partir de la raie H_ϵ .
2. A l'aide de la formule de Bohr, calculer le niveau d'énergie fondamental de l'atome d'hydrogène.
3. Construire le diagramme énergétique de l'atome d'hydrogène pour les niveaux 1 à 7. Indiquer en particulier sur ce diagramme les énergies des niveaux en eV, ainsi que leur numéro.
4. Montrer que l'application du modèle de l'émission de lumière d'origine atomique permet de retrouver la longueur d'onde de la raie H_α de l'hydrogène.
5. Indiquer par des flèches sur le diagramme énergétique de l'hydrogène les transitions énergétiques se produisant pour chacune des séries.
6. Calculer les longueurs d'onde des raies d'émission correspondant à la série de Paschen.
7. Retrouver la formule de Rydberg à partir du modèle de Bohr, et calculer R_H .

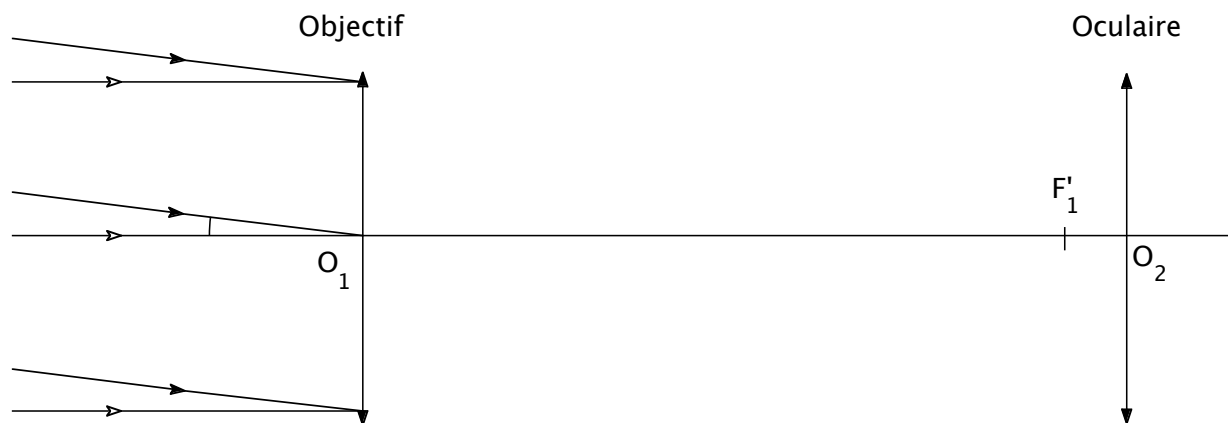
Données : $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$

$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

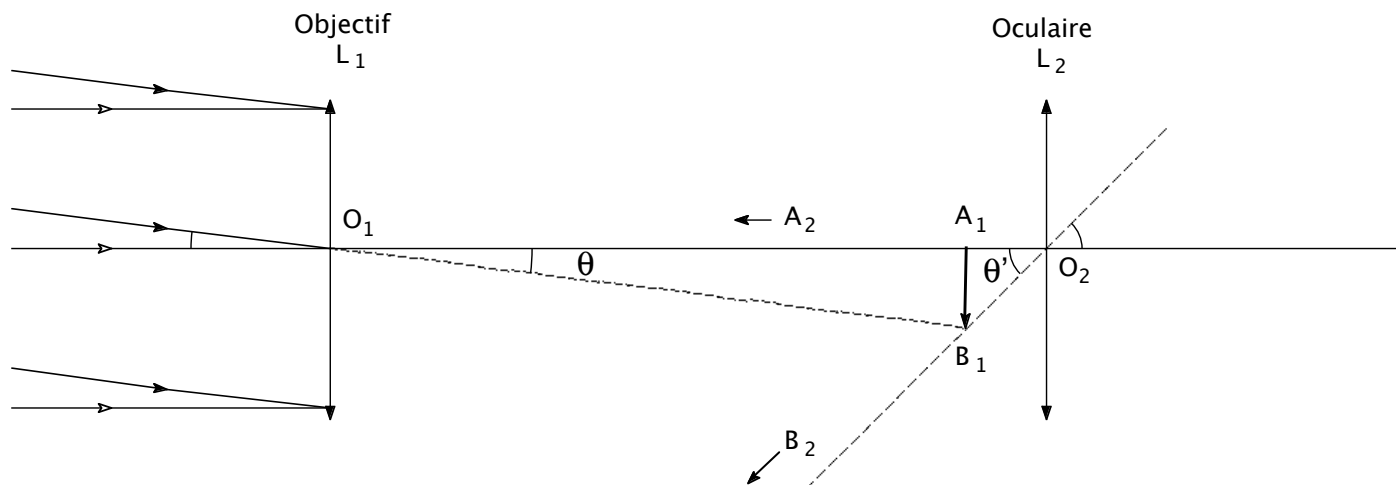
NOM : _____

ANNEXE

PARTIE 1 – Schéma n°1



PARTIE 1 – Schéma n°2



PARTIE 3 – Schéma n°3

