

Atomistique et instruments d'optique

Durée : 3 heures

L'usage de la calculatrice et de tout autre appareil électronique est interdit.

- ▷ La qualité de la rédaction, la clarté et la précision des raisonnements entrent pour une part importante dans l'appréciation des copies. En particulier, et sauf si la question le demande explicitement, **les résultats non justifiés ne sont pas pris en compte.**
- ▷ La présentation, la lisibilité et l'orthographe font partie des critères d'évaluation. Les candidats sont invités à **numéroter les copies utilisées**, à **encadrer les résultats de leurs calculs** et à mettre en évidence le numéro des questions. Une **pénalité pouvant aller jusqu'à 10 % de la note obtenue** sera appliquée aux copies sales et peu soignées.
- ▷ Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, **il le signale sur sa copie et poursuit sa composition** en précisant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.
- ▷ Le sujet se compose de **deux parties indépendantes** les unes des autres, que le candidat est libre d'aborder **dans l'ordre de son choix.**
 - La partie I aborde quelques aspects de la chimie du chrome. Elle compte pour 45 % du barème.
 - La partie II est recomposée à partir des sujets CCP PC 2015 et Centrale TSI 2016. Elle traite de l'observation et la photographie de la planète Jupiter. Elle représente 55 % du barème.
- ▷ Le sujet est volontairement long pour laisser au candidat le choix des parties sur lesquelles il souhaite se concentrer en priorité. Pour faire ce choix en connaissance de cause, il est recommandé de lire en entier le sujet avant d'entamer la composition.

Les candidats doivent vérifier que le sujet comporte bien 6 pages, numérotées de 1/6 à 6/6.

I - Autour du chrome

Le chrome Cr, de numéro atomique $Z_{\text{Cr}} = 24$, se présente sous forme d'un métal gris, très brillant une fois poli. Il fut découvert en 1797 à partir de l'analyse du plomb rouge de Sibérie. Son nom lui vient de la racine grecque *chrôma* ou latine *chroma* signifiant « couleur » : les composés du chrome présentent en effet des couleurs très variées, du rouge foncé au vert en passant par le orange. Le changement de couleur des éthylo-tests, abordé partie E, est ainsi dû à une transformation d'oxydoréduction impliquant des espèces chromées. Le chrome est aujourd'hui principalement utilisé en sidérurgie, où il entre notamment dans la composition de certains aciers dont il améliore la dureté et la protection contre la corrosion.

I.A - Isotopes

Le chrome naturel se compose de quatre isotopes stables, dont l'abondance est donnée par le tableau ci-dessous.

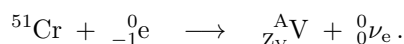
Isotope	^{50}Cr	^{52}Cr	^{53}Cr	^{54}Cr
Abondance (%)	4,3	83,8	9,5	2,4

1 - Rappeler ce que sont deux isotopes.

2 - Donner la composition d'un atome de ^{52}Cr .

3 - Exprimer la masse molaire du chrome naturel. Une expression littérale « aboutie » est attendue, ainsi qu'une estimation de la valeur numérique.

L'isotope 51 du chrome est instable et se transforme en vanadium V par capture électronique, d'équation bilan



Au cours de cette transformation, un électron e est absorbé par un proton du noyau qui se transforme ainsi en neutron. Le processus s'accompagne de l'émission d'un neutrino électronique ν_e .

4 - À quelle famille de transformations la capture électronique appartient-elle ?

5 - Déterminer les valeurs du numéro atomique Z_V du vanadium et du nombre de masse A de l'isotope créé.

I.B - Configuration électronique

6 - Énoncer la règle de Klechkovski. Par application de cette règle, déterminer la configuration électronique du chrome.

7 - En déduire sa position (ligne et colonne, bloc) dans le tableau périodique des éléments.

8 - Le molybdène Mo est situé dans la même colonne et une ligne en dessous du chrome dans le tableau périodique. En déduire son numéro atomique Z_{Mo} .

9 - Trouve-t-on un élément juste au dessus du chrome dans le tableau périodique ? Justifier.

10 - Identifier les électrons de valence du chrome. Combien d'entre eux sont non-appariés ? Justifier la réponse en nommant et énonçant la règle utilisée.

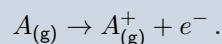
Des études par spectroscopie montrent en fait que les électrons de valence du chrome occupent bien les orbitales atomiques prévues, mais qu'ils sont tous célibataires. Le chrome ne respecte donc pas la règle de Klechkovski.

11 - Déterminer la configuration électronique réelle du chrome. Proposer une interprétation au fait qu'il constitue une exception à la règle Klechkovski.

I.C - Ionisations successives

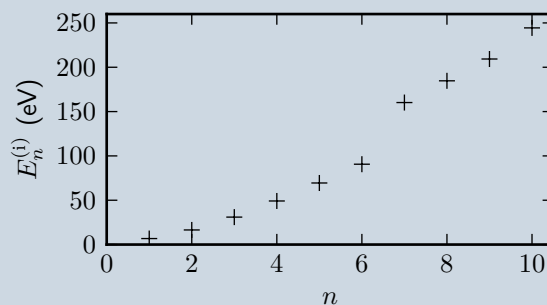
Document 1 : Énergies d'ionisations successives du chrome

L'énergie de première ionisation $E_1^{(i)}$ d'un atome A est l'énergie à lui fournir à l'état gazeux pour lui arracher un électron et former un ion positif,



Cette définition se généralise aux ionisations successives : l'énergie de n -ième ionisation $E_n^{(i)}$ de l'atome A est celle à fournir pour passer en phase gazeuse de l'ion $A^{(n-1)+}$ à l'ion A^{n+} .

Les énergies des dix premières ionisations du chrome sont représentées sur la figure ci-dessous.



12 - La courbe du document 1 montre une rupture dans l'évolution de $E_n^{(i)}$ pour la septième ionisation. Proposer une interprétation.

13 - Plus généralement, les mesures d'énergies d'ionisations successives peuvent servir à déterminer le nombre d'électrons de valence d'un atome. Expliquer comment procéder.

On s'intéresse spécifiquement à l'énergie de première ionisation $E_1^{(i)} = 6,8 \text{ eV}$ du chrome.

14 - Quelle est la configuration électronique de l'ion Cr^+ formé ?

15 - Déterminer la longueur d'onde du rayonnement électromagnétique à utiliser pour réaliser l'ionisation. À quel domaine du spectre ce rayonnement appartient-il ?

I.D - Oxydoréduction

De la poudre de chrome métallique Cr est attaquée par une solution concentrée d'acide chlorhydrique, contenant les ions H^+ et Cl^- . Elle disparaît peu à peu, ce qui s'accompagne de la production de dihydrogène H_2 gazeux ainsi que d'ions Cr^{2+} .

16 - Identifier les couples d'oxydoréduction impliqués dans la transformation, et écrire l'équation bilan la modélisant sans oublier les états physiques.

17 - Quelle propriété du chrome est mise en évidence par cette expérience ? Était-elle prévisible ?

I.E - Éthylotest

Le changement de couleur d'un éthylotest est due à une transformation chimique des ions dichromate $Cr_2O_7^{2-}$ (orange) sous l'action de l'éthanol C_2H_5OH . Des ions Cr^{3+} (vert) et de l'acide éthanoïque CH_3CO_2H sont produits.

18 - Rappeler la configuration électronique de l'hydrogène, du carbone et de l'oxygène.

19 - Nommer et énoncer la règle essentielle que doivent respecter le carbone et l'oxygène lorsqu'ils apparaissent dans une molécule. Pourquoi n'est-ce pas le cas pour le chrome ?

20 - Représenter le schéma de Lewis de l'éthanol.

21 - Représenter le schéma de Lewis de l'ion dichromate, sachant qu'il repose sur un enchaînement Cr–O–Cr.

22 - Représenter le schéma de Lewis de l'acide éthanoïque, sachant que les deux atomes d'oxygène sont liés au même atome de carbone mais ne sont pas liés entre eux.

II - Observation de Jupiter [adapté CCP PC 2015 et Centrale TSI 2016]

On s'intéresse à quelques éléments du matériel d'un astronome amateur adepte de l'imagerie numérique. Cet astronome désire profiter d'une opposition de la planète Jupiter pour l'observer et la photographier depuis la Terre. Dans cette situation particulière, la distance entre la Terre et Jupiter est minimale et vaut $591 \cdot 10^6$ km. Le diamètre angulaire apparent de la planète est donc maximal et vaut $\alpha_0 = 50''$ ($3600'' = 1^\circ$).

L'étude est menée dans le cadre de l'optique géométrique et dans les conditions de Gauss.

23 - Expliquer pourquoi il est très raisonnable de considérer que Jupiter est située à l'infini, ce qu'on suppose pour toute la suite.

II.A - Observation à l'œil à l'aide d'une lunette astronomique

Dans un premier temps, l'astronome utilise une lunette astronomique pour observer la planète, schématisée figure 1. On rappelle qu'une lunette astronomique est un système centré constitué d'un objectif et d'un oculaire. L'objectif est assimilé à une lentille mince convergente L_1 de centre optique O_1 , de distance focale $f'_1 = 2,0$ m et de diamètre $d_1 = 20$ cm, montée sur un tube \mathcal{T}_1 . L'oculaire est modélisé par une lentille mince convergente de centre optique O_2 , de distance focale $f'_2 = 2,0$ cm et de diamètre $d_2 = 6,0$ mm, montée sur un tube \mathcal{T}_2 . La mise au point se règle en faisant coulisser \mathcal{T}_2 .

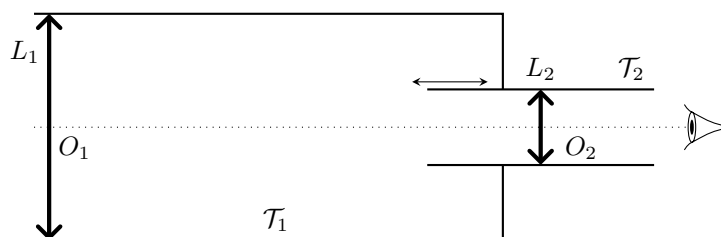


Figure 1 – Lunette astronomique utilisée par l'astronome amateur.

Grossissement

24 - À quelle condition l'œil d'un observateur, supposé sans défaut, n'accomode pas et peut donc observer sans fatigue ? En déduire la position relative de l'objectif et de l'oculaire.

25 - Ce système optique possède-t-il des foyers ? Comment qualifie-t-on un tel système optique ?

26 - Reproduire sur votre copie le schéma de principe de la figure 2, sans respecter les échelles. Montrer le devenir d'un rayon incident **ne passant pas par O_1** mais faisant un angle θ avec l'axe optique et émergeant sous un angle θ' . Indiquer très clairement sur votre schéma la position des foyers de l'objectif et de l'oculaire.



Figure 2 – Schéma de principe pour la formation de l'image.

27 - Déterminer l'expression du grossissement de la lunette $G = \theta'/\theta$ en fonction de f'_1 et f'_2 et calculer sa valeur numérique.

28 - L'œil peut discerner des détails si leur taille angulaire est supérieure à environ $60''$. En déduire, en kilomètres, la taille du plus petit détail visible à la surface de Jupiter observée au travers de la lunette.

Diaphragme d'ouverture

On appelle diaphragme d'ouverture la monture de la lentille qui limite le diamètre du faisceau de sortie. Pour l'identifier, on considère le faisceau lumineux issu d'un point de Jupiter à l'infini sur l'axe optique de la lunette, figure 3.

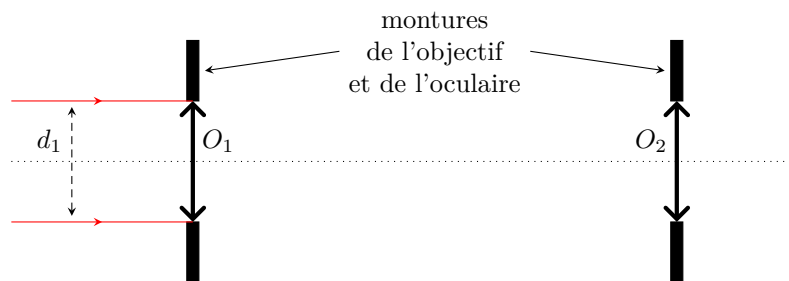


Figure 3 – Schéma de principe pour le diaphragme d'ouverture.

29 - Reproduire la figure 3 sur votre copie à l'identique de la question 26. Indiquer très clairement sur votre schéma la position des foyers de l'objectif et de l'oculaire. Représenter le devenir du faisceau lumineux limité par la monture de la lentille objectif.

30 - Exprimer le diamètre d' du faisceau de rayons sortant de l'oculaire en fonction du grossissement G de la lunette ainsi que du diamètre d_1 de l'objectif.

31 - Calculer numériquement d' . Montrer que c'est bien la monture de l'objectif qui est diaphragme d'ouverture et non celle de l'oculaire.

32 - Le diaphragme d'ouverture contrôle la luminosité de l'image finale. Justifier.

Diaphragme de champ

On appelle champ d'un instrument d'optique la portion d'espace observable au travers de l'instrument. Par analogie avec le diaphragme d'ouverture, on appelle diaphragme de champ la monture de la lentille qui limite le champ de la lunette astronomique. Pour l'identifier, on considère le faisceau lumineux issu d'un point de Jupiter à l'infini mais incliné d'un angle θ par rapport à l'axe optique.

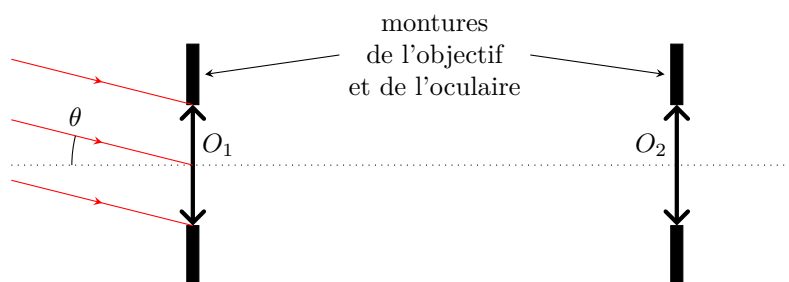


Figure 4 – Schéma de principe pour le diaphragme d'ouverture.

33 - Expliquer, de façon qualitative, ce qu'il advient lorsque l'angle θ devient trop important.

34 - Laquelle de la monture de l'objectif ou de l'oculaire constitue le diaphragme de champ ? Justifier.

II.B - Photographie de la planète

Pour photographier la planète, l'astronome modifie son dispositif comme représenté figure 5. L'oculaire est directement remplacé par le boîtier de l'appareil photo, que l'on modélise par un capteur CCD fixé sur un tube \mathcal{T}'_2 . C'est donc l'objectif de la lunette astronomique qui sert d'objectif à l'appareil photo. Un extrait de la documentation technique du capteur est donné document 2. Comme précédemment, la mise au point se règle en faisant coulisser \mathcal{T}'_2 .

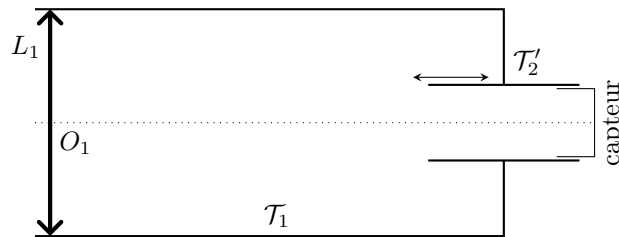


Figure 5 – Dispositif utilisé par l'astronome amateur pour photographier la planète.

Document 2 : Extrait de la documentation technique du capteur CCD

- ▷ Modèle : ICX618 ;
- ▷ Format du capteur : rectangulaire
 - surface utile $S_c = 9,63 \text{ mm}^2$;
 - diagonale $d_c = 4,48 \text{ mm}$;
 - largeur $\ell_c = 3,59 \text{ mm}$;
 - hauteur $h_c = 2,69 \text{ mm}$
- ▷ Nombre de pixels : $N = 307\,200$;
- ▷ Format des pixels : carré de côté $\varepsilon_c = 6,0 \mu\text{m}$.

Formation de l'image

- 35** - À quelle distance de L_1 faut-il placer le capteur pour y obtenir une image nette de Jupiter ?
- 36** - Déterminer la taille, exprimée en nombre de pixels, de l'image de Jupiter sur le capteur. Le raisonnement gagnera à s'appuyer sur un schéma.
- 37** - Pour obtenir une image de la planète suffisamment lumineuse, sur quel réglage de l'appareil photo l'astronome peut-il jouer ?

Tolérance de mise au point

- 38** - Définir le stigmatisme. Pourquoi est-il essentiel pour la qualité d'une image ?

Dans le cas présent, un manque de stigmatisme du dispositif peut provenir d'un mauvais réglage de la mise au point. Pour estimer la précision avec laquelle elle doit être réalisée, on suppose que l'ensemble (\mathcal{T}'_2 -capteur) se trouve à une distance δ de la position assurant une image parfaitement nette.

- 39** - En raisonnant sur les rayons issus du point de Jupiter situé sur l'axe optique de L_1 , expliquer physiquement à partir de schémas que l'image de ce point sur le capteur n'est plus ponctuelle et forme une tache de largeur notée ε_t .
- 40** - À quelle condition sur ε_t et ε_c ce défaut de ponctualité ne se remarque pas sur le capteur utilisé ? En déduire la valeur maximale δ_{max} autorisée pour δ sans qu'il n'y ait d'incidence sur la netteté de l'image formée sur le capteur. Cette valeur définit la tolérance de mise au point. Calculer sa valeur numérique. Commenter.

Oculaire de Barlow

Pour obtenir une image de la planète plus grande que celle déterminée à la question 36, on intercale un oculaire de Barlow, voir figure 6, modélisé ici par une lentille mince divergente L_3 , de distance focale f'_3 . La lentille L_3 est solidaire du tube \mathcal{T}'_2 : la distance $D_{3c} = 200 \text{ mm}$ qui la sépare du capteur est donc fixée par construction.

La mise au point se fait en translatant l'ensemble (L_3 -capteur), fixé sur le tube porte-oculaire \mathcal{T}'_2 . On note $D_{13} = O_1O_3$ la distance entre L_1 et L_3 et on suppose que le foyer image F'_1 est situé entre L_3 et le capteur.

On rappelle les relations de conjugaison et de grandissement de Descartes pour une lentille mince de distance focale f' et de centre O , impliquant un point A de l'axe optique et son image A' ,

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'} \quad \text{et} \quad \gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}.$$

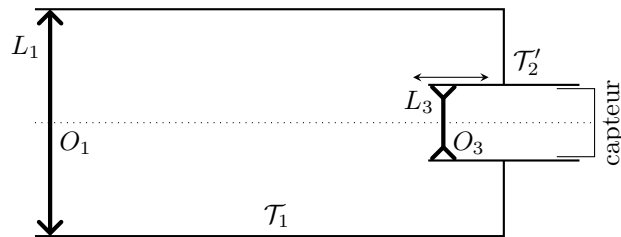


Figure 6 – Dispositif de photographie avec oculaire de Barlow.

41 - La figure 7 représente un schéma de principe de la lunette astronomique équipée d'un oculaire de Barlow. Reproduire sur votre copie cette figure en respectant les proportions (nombre de carreaux). Le rayon représenté est issu d'une extrémité de Jupiter. Construire l'image de la planète sur le capteur.

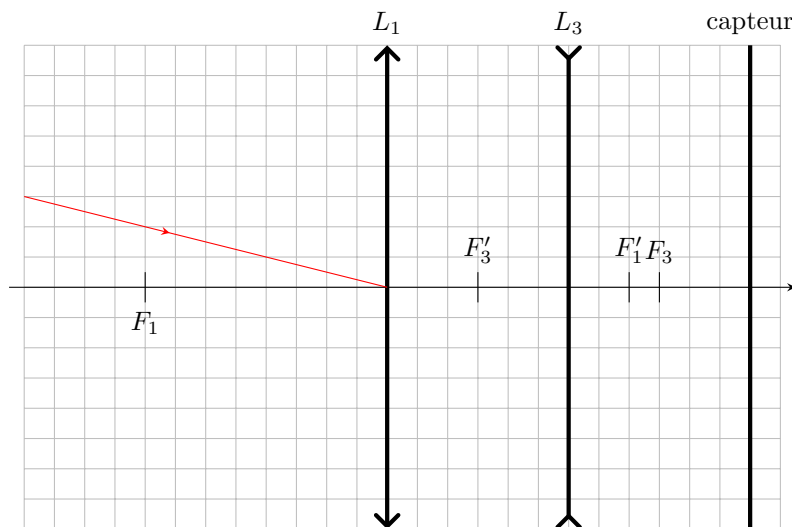


Figure 7 – Marche des rayons avec oculaire de Barlow.

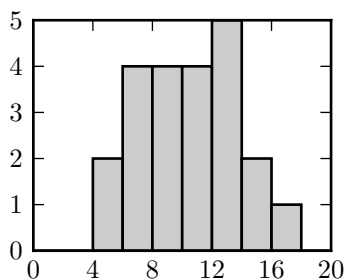
42 - Comment faut-il choisir f_3' et à quelle valeur doit-on régler D_{13} pour que le dispositif produise sur le capteur de la caméra une image de Jupiter trois fois plus large que précédemment ? Donner les expressions littérales et les valeurs numériques.

43 - Le dispositif de Barlow est alors qualifié de « tripleur de focale ». Proposer une justification à ce terme.

Atomistique et instruments d'optique

Bilan du devoir

Notes



- ▷ Barème brut sur 93, transformé en note sur 20 par proportionnalité.
- ▷ Moyenne de la classe : 31/90, arbitrairement choisie à 10,5/20 car j'estime le devoir plutôt réussi ... sans qu'il n'y ait pour autant lieu de s'emballer vue la difficulté du sujet.
- ▷ Les notes sont raisonnablement étalées, comprises entre 4,2 et 16,3/20 (48/93) alors que la meilleure copie perd plusieurs points bêtement. La structure de classe se confirme avec trois copies au dessus de 15 et un grand nombre de copies assez homogènes entre 10 et 13.

Commentaires principaux

- ▷ La partie I concerne des chapitres plutôt simples et a été globalement bien traitée. À de rares exceptions près, les principaux objectifs du cours sont atteints. Le bilan est donc satisfaisant ! Seul point décevant, l'énoncé des règles n'est pas parfaitement maîtrisé alors que la question tombe tous les ans ...
- ▷ La partie II a été moins bien traitée, souvent par manque de temps. Cependant, les questions faites en cours (instrument afocal, calcul du grossissement) sont massivement refaites à peu près correctement, ce qui est positif. Vous êtes dans l'ensemble en bonne voie et il faut continuer.
- ▷ En revanche, vous perdez de nombreux points faute de justifier correctement et complètement vos réponses. Il est regrettable de ne gagner que la moitié des points, voire même parfois aucun, pour un raisonnement que vous *savez faire*.

Erreurs trop courantes à éviter

- 2** - Un atome compte aussi des électrons.
- 9** - Il faut justifier par des arguments de science plus que par votre apprentissage du tableau périodique.
- 14** - Attention, ce sont les électrons de la sous-couche $4s$ (n le plus grand) qui sont arrachés avant ceux de la $3d$.
- 23** - Les mauvaises réponses sont étonnamment nombreuses.
- 24** - En tout début d'énoncé, une justification complète et précise est attendue : presque tout le monde connaît la réponse, mais la moyenne de classe n'est que de 1,3/2,5.
- 26** - Beaucoup d'entre vous ont changé de rayon au niveau de l'image intermédiaire, et ne répondent donc pas à la question qui demande *tout* le trajet du *même* rayon.
- 27** - Sans surprise, beaucoup de dérapages pas très contrôlés sur les signes.
- 28** - Il faut convertir l'angle en radian pour les applications numériques.

I - Autour du chrome

❖ *Barème : 43 pts au total.*

I.A - Isotopes

1 Deux isotopes sont deux noyaux qui possèdent le même nombre de protons, mais pas le même nombre de neutrons.

❖ *Barème : 1 pt*

2 Un atome de chrome 52 compte 24 protons, 24 électrons, et $52 - 24 = 28$ neutrons.

❖ *Barème : 1 pt*

3 Estimons d'abord la masse moyenne m_{Cr} d'un atome de chrome en tenant compte des abondances isotopiques. Notons $m_{\text{nucl}} \simeq 1,6 \cdot 10^{-27}$ kg la masse d'un nucléon.

$$m_{\text{Cr}} = \frac{4,3 \times 50 m_{\text{nucl}} + 83,8 \times 52 m_{\text{nucl}} + 9,5 \times 53 m_{\text{nucl}} + 2,4 \times 54 m_{\text{nucl}}}{100} \simeq 8,5 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$$

La masse molaire s'en déduit,

$$M_{\text{Cr}} = N_{\text{A}} \times m_{\text{Cr}} \simeq 51 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

| La valeur tabulée est $M_{\text{Cr}} = 52,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

❖ *Barème : 4 pts : 1+1 pts pour la masse atomique moyenne, 1+1 pts pour la masse molaire*

4 Un noyau de chrome est transformé en noyau de vanadium au cours de la transformation : il s'agit d'une transformation nucléaire.

❖ *Barème : 1 pt*

5 Par conservation du nombre de charge,

$$Z_{\text{Cr}} - 1 = Z_{\text{V}} + 0 \quad \text{d'où} \quad Z_{\text{V}} = 23.$$

Par conservation du nombre de masse,

$$51 + 0 = A + 0 \quad \text{d'où} \quad A = 51.$$

❖ *Barème : 1 pt*

I.B - Configuration électronique

6 Dans l'état fondamental d'un atome, les sous-couches électroniques sont remplies par ordre de $n + \ell$ croissant, et à $n + \ell$ égal par ordre de n croissant. La configuration électronique du chrome est donc

$$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^4.$$

❖ *Barème : 3 pts : 2 pour l'énoncé, 1 pour la configuration*

7 Comme la configuration termine en d^4 alors le chrome appartient à la quatrième colonne du bloc d . Le bloc d se trouvant juste à droite du bloc s , on en déduit que le chrome se trouve dans la sixième colonne du tableau périodique. Enfin, la valeur maximale de n dans la configuration du chrome est 4, il appartient donc à la quatrième ligne.

❖ *Barème : 3 pts : 1 par élément de réponse*

8 La position du molybdène indique que sa configuration électronique se termine en $4d^4$, elle s'écrit donc

$$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 4d^4.$$

On en déduit son numéro atomique

$$Z_{\text{Mo}} = 42.$$

❖ *Barème : 1 pt*

9 L'élément au dessus du chrome aurait une configuration qui terminerait par $2d^4$. Or la sous-couche $2d$ n'existe pas : on en déduit qu'il n'y a pas d'élément au dessus du chrome dans le tableau périodique.

Il faut justifier par des arguments scientifiques, pas parce que vous connaissez par cœur le tableau périodique.

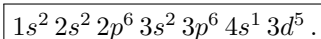
❖ *Barème : 1 pt*

10 Les électrons de valence du chrome sont les six électrons $4s^2$ et $3d^4$. La règle de Hund indique que dans le cas d'une sous-couche incomplète, l'état fondamental est celui dans lequel les électrons occupent le maximum d'orbitales atomiques, le spin des électrons non-appariés étant parallèle. Ici la sous-couche $3d$ est incomplète et compte cinq orbitales. On en déduit que les quatre électrons $3d$ occupent quatre orbitales différentes où ils sont seuls : l'atome de chrome compterait donc **quatre électrons célibataires**.

Il est tout à fait possible de justifier par un diagramme énergétique.

❖ *Barème : 3 pts : 1,5 pts pour la règle de Hund, 1 pt pour la justification et 0.5 pt pour le nombre.*

11 Si les six électrons de valence sont célibataires, c'est que l'un des électrons $4s$ se trouve en fait dans l'orbitale $3d$ initialement vide. La configuration correcte est donc



Cela permet au chrome d'avoir une **sous-couche de valence à moitié remplie**, ce qui lui confère un gain de stabilité.

❖ *Barème : 2 pts : 1 pour la config, 1 pour sous-couche à demi-remplie*

I.C - Ionisations successives

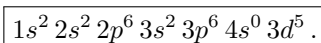
12 L'ion Cr^{6+} a pour configuration électronique $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$ qui est celle du gaz noble argon. Il s'agit donc d'une configuration extrêmement stable, c'est pourquoi arracher un septième électron devient nettement plus coûteux en énergie.

❖ *Barème : 2 pts*

13 Ioniser la totalité des électrons de valence d'un atome donne toujours une configuration de type gaz noble, et la rupture dans l'évolution des énergies d'ionisations discutée à la question précédente se retrouve systématiquement. Il faut donc repérer pour quelle ionisation a lieu cette rupture, **cette valeur correspondant au nombre d'électrons de valence de l'atome**.

❖ *Barème : 2 pts*

14 L'ion Cr^+ a pour configuration



Attention, ce sont les électrons de la sous-couche de n le plus grand qui sont arrachés les premiers lors de la formation d'un cation monoatomique.

❖ *Barème : 1 pt*

15 Pour que l'ionisation ait lieu, la fréquence ν du photon doit valoir

$$\nu = \frac{E_1^{(i)}}{h}$$

avec h la constante de Planck. D'après la relation de dispersion, $\nu = c/\lambda$ d'où

$$\lambda = \frac{hc}{E_1^{(i)}} .$$

Numériquement, $h \simeq 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$, $c \simeq 3,0 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ et $E_1^{(i)} = 6,8 \times 1,6 \cdot 10^{-19} \simeq 1,0 \cdot 10^{-18} \text{ J}$, d'où

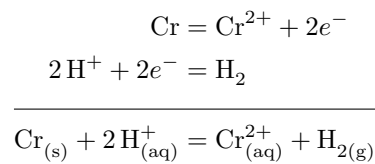
$$\lambda \simeq 180 \text{ nm} .$$

Il s'agit d'un **rayonnement ultraviolet**.

❖ *Barème : 3 pts : 1 pour l'expression littérale, 1 pour la valeur numérique, 1 pour l'UV*

I.D - Oxydoréduction

16 Les couples impliqués sont Cr^{2+}/Cr et H^+/H_2 . L'équation bilan s'écrit donc



| L'ion Cl^- est spectateur et n'apparaît donc pas dans l'équation bilan.

❖ Barème : 2 pts

17 Au cours de la transformation le chrome cède deux électrons, il agit donc en tant que **réducteur**. Cela n'est pas très surprenant car le chrome se trouve plutôt à gauche du tableau périodique, du côté des éléments peu électronégatifs.

❖ Barème : 2 pts

I.E - Éthylotest

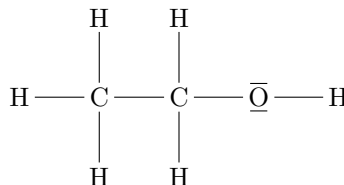
18 ▷ H : $Z_{\text{H}} = 1$ donc $1s^1$;
▷ C : $Z_{\text{C}} = 6$ donc $1s^2 2s^2 2p^2$;
▷ O : $Z_{\text{O}} = 8$ donc $1s^2 2s^2 2p^4$.

❖ Barème : 1 pt : 0.5+0.5 pour C et O. H est évident et ne rapporte pas de point :)

19 Le carbone et l'oxygène font partie de la deuxième période et doivent absolument respecter la **règle de l'octet**, c'est-à-dire qu'ils ne sont jamais entourés de plus de quatre doublets dans une molécule. Le chrome fait partie de la quatrième période et peut donc être hypervalent.

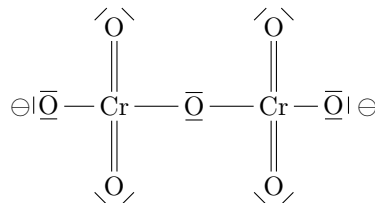
❖ Barème : 2 pts : 1 pour l'octet si elle est expliquée, 1 pour l'hypervalence

20 Nombre de doublets : $\frac{2 \times 4 + 5 + 6 + 1}{2} = 10$, d'où



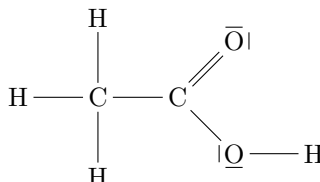
❖ Barème : 1 pt

21 Nombre de doublets : $\frac{2 \times 6 + 7 \times 6 + 2}{2} = 28$ d'où



❖ Barème : 3 pts

22 Nombre de doublets : $\frac{4 + 3 \times 1 + 4 + 2 \times 6 + 1 + 1}{2} = 12$ d'où



| La structure des acides carboxyliques doit être connue !

❖ Barème : 2 pts

II - Observation de Jupiter [adapté CCP PC 2015 et Centrale TSI 2016]

❖ Barème : 51 points au total

23 La distance Terre-Jupiter est **beaucoup plus grande que les distances focales des lentilles** dont il est question dans le sujet. Il est donc raisonnable de considérer Jupiter à l'infini optique.

❖ Barème : 1 pt

II.A - Observation à l'œil à l'aide d'une lunette astronomique

Grossissement

24 Un œil normal n'accomode pas **lorsque l'objet qu'il observe se trouve à l'infini optique**. Dans le cas de la lunette astronomique, l'objet pour l'œil est l'image finale formée par l'oculaire, qui doit se trouver à l'infini. On en déduit que l'image intermédiaire, qui sert d'objet pour l'oculaire, se trouve dans le plan focal objet de l'oculaire, à une distance f'_2 avant O_2 . Or l'image intermédiaire est l'image formée par l'objectif d'un objet se trouvant à l'infini. L'image intermédiaire se trouve donc dans le plan focal image de l'objectif, à une distance f'_1 après O_1 . Finalement, on en déduit que **le plan focal image de l'objectif doit coïncider avec le plan focal objet de l'oculaire**, ou encore

$$\overline{O_1O_2} = f'_1 + f'_2 = 2,02 \text{ m.}$$

❖ Barème : 2.5 pts : 0.5 pour l'infini, 1 pour $A_{\text{int}} = F_2$, 1 pour $A_{\text{int}} = F'_1$ et la conclusion

25 L'image par la lunette d'un objet situé à l'infini est également à l'infini. Une lunette astronomique ne possède donc **ni foyer objet, ni foyer image : c'est un instrument afocal**.

❖ Barème : 1 pt

26 Voir figure 8.

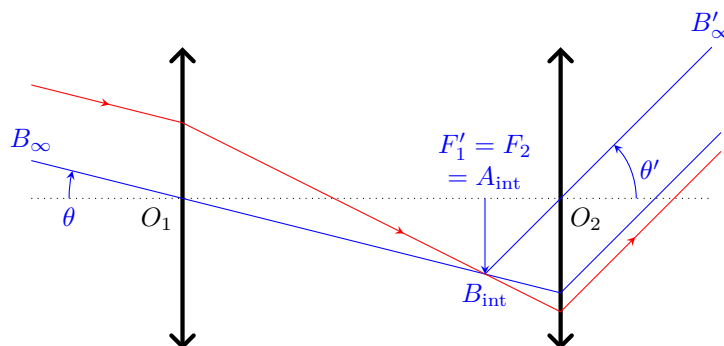


Figure 8 – Marche des rayons dans une lunette astronomique. Les rayons bleus correspondent à ceux du schéma de l'énoncé. Le rayon rouge est le rayon d'intérêt. Version couleur sur le site de la classe.

Protocole de construction : (pas à détailler sur la copie)

- ▷ Le prolongement entre les deux lentilles des deux rayons donnés sur l'énoncé permet de déterminer la position de l'image intermédiaire B_{int} au sein de la lunette.
- ▷ On en déduit ensuite la marche du rayon quelconque : il arrive sur l'objectif parallèlement au rayon tracé (même incidence θ car objet à l'infini), il est dévié par l'objectif afin de passer par l'image intermédiaire (propriété de stigmatisme), et est dévié par la l'oculaire afin d'émerger parallèlement au rayon tracé (même angle θ' car image à l'infini). Bien sûr, ce rayon n'est pas dévié au niveau de l'image intermédiaire.
- ▷ Enfin, compte tenu de la position de l'image intermédiaire on peut placer les foyers : $F'_1 = F_2 = A_{\text{int}}$.

❖ Barème : 3.5 pts : 1 pt pour l'image intermédiaire, 2 pts pour le rayon quelconque, 0.5 pour les foyers

27 Les notations sont celles de la figure 8, et comme la lunette est utilisée dans les conditions de Gauss on utilise l'approximation des petits angles. On identifie dans le triangle $O_1A_{\text{int}}B_{\text{int}}$

$$\tan \theta = -\frac{A_{\text{int}}B_{\text{int}}}{O_1A_{\text{int}}} \quad \text{soit} \quad \theta = -\frac{A_{\text{int}}B_{\text{int}}}{f'_1}$$

car l'image intermédiaire se trouve dans le plan focal image de l'objectif.

On sait à partir du dessin que $\theta < 0$, donc que $\tan \theta < 0$. Il faut donc penser à rajouter le signe – « à la main » lorsqu'on exprime la tangente en fonction des longueurs. Il est aussi possible d'exprimer la tangente à partir des longueurs algébriques.

De même, dans le triangle $O_2A_{\text{int}}B_{\text{int}}$,

$$\tan \theta' = \frac{A_{\text{int}}B_{\text{int}}}{O_2A_{\text{int}}} \quad \text{soit} \quad \theta' = \frac{A_{\text{int}}B_{\text{int}}}{f_2'}$$

car l'image intermédiaire se trouve dans le plan focal objet de l'oculaire. Finalement

$$G = \frac{\theta'}{\theta} = -\frac{A_{\text{int}}B_{\text{int}}}{f_2'} \frac{f_1'}{A_{\text{int}}B_{\text{int}}} \quad \text{soit} \quad \boxed{G = -\frac{f_1'}{f_2'} = -100.}$$

❖ **Barème** : 5 pts : 2 pour la méthode et les signes, 2 pour θ et θ' , 1 pour G

28 À la limite de résolution, $\theta' = 60''$ donc $|\theta| = \theta' / |G| = 0,6''$. Comme la distance D entre la Terre et Jupiter est connue, alors la hauteur h du plus petit détail visible s'en déduit par

$$h = D\theta \simeq 1,7 \cdot 10^3 \text{ km.}$$

Attention à penser à convertir θ en radians pour l'application numérique.

❖ **Barème** : 3 pts : 2 littéral, 1 numérique

Diaphragme d'ouverture

29 Voir figure 9. Les déviations des deux rayons extrêmes sont déterminées en utilisant le stigmatisme : ces rayons se coupent forcément sur l'axe optique au niveau de l'image intermédiaire.

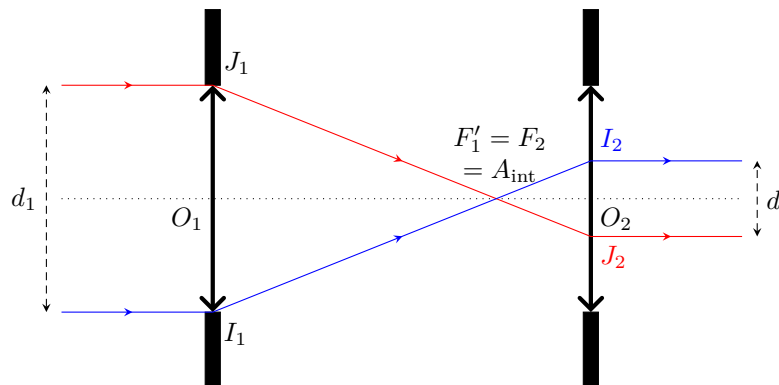


Figure 9 – Diaphragme d'ouverture d'une lunette astronomique. Version couleur sur le site de la classe.

❖ **Barème** : 2 pts

30 D'après le théorème de Thalès dans les triangles $O_1J_1A_{\text{int}}$ et $O_2J_2A_{\text{int}}$,

$$\frac{O_1J_1}{O_1A_{\text{int}}} = \frac{O_2J_2}{O_2A_{\text{int}}} \quad \text{soit} \quad \frac{d_1/2}{f_1'} = \frac{d'/2}{f_2'}$$

connaissant la position de l'image intermédiaire. En identifiant $|G| = f_1'/f_2'$, on aboutit à

$$\boxed{d' = \frac{d_1}{|G|}.}$$

On peut également raisonner à partir de tangentes d'angles bien choisis.

❖ **Barème** : 4 pts : 2 pour la méthode, 1 pour le résultat, 1 pour faire apparaître G sans erreur de signe

31 Avec $|G| = 100$ et $d_1 = 20$ cm, on trouve que le diamètre du faisceau en sortie de l'oculaire vaut $d' = 2,0$ mm. Comme $d' < d_2$, c'est bien la monture de l'objectif qui limite le diamètre du faisceau de sortie et non pas la monture de l'oculaire.

❖ *Barème : 1 pt*

32 La luminosité de l'image est reliée au nombre de rayons issus du même point de l'objet qui peuvent entrer dans la lunette. Or ce nombre de rayons est d'autant plus grand que le diaphragme d'ouverture d_1 est grand. On en déduit que **c'est le diaphragme d'ouverture qui contrôle la luminosité de l'image finale.**

❖ *Barème : 1 pt***Diaphragme de champ**

33 Lorsque l'angle θ devient grand, les rayons sont très inclinés par rapport à l'axe optique. Dans ce cas, certains d'entre eux ne contribuent pas à l'image finale car ils sont arrêtés par la monture de l'oculaire. L'image finale du point objet associé à cette inclinaison **devient alors moins lumineuse** lorsque seule une fraction des rayons est occultée, et **disparaît complètement** si l'inclinaison est telle que tous les rayons issus de ce point et passant par l'objectif sont arrêtés par la monture de l'oculaire.

❖ *Barème : 2 pts*

34 La question précédente montre que c'est la monture de l'oculaire qui est responsable de la visibilité ou non d'un point au travers de l'objectif : si la taille de cette monture est augmentée, moins de rayons seront arrêtés, et plus de points sont visibles. Cela permet de conclure que c'est **la monture de l'oculaire qui joue le rôle de diaphragme de champ** de la lunette astronomique.

❖ *Barème : 1 pt***II.B - Photographie de la planète****Formation de l'image**

35 Par définition, l'image d'un objet situé à l'infini se forme dans le plan focal image de la lentille L_1 . C'est donc là qu'il faut placer le capteur, **à distance $f'_1 = 2,0$ m derrière L_1 .**

❖ *Barème : 1 point*

36 Les notations sont celles du schéma figure 10. Comme Jupiter est vue sous un angle α_0 alors les rayons les plus extrêmes arrivent sur la lentille en formant un angle $\alpha_0/2$ avec l'axe optique. Ainsi, l'image de Jupiter a pour rayon

$$r = f'_1 \tan \frac{\alpha_0}{2}$$

ce qui donne en linéarisant une image de diamètre total

$$D = 2r = \alpha_0 f'_1.$$

Le nombre de pixels occupé par l'image vaut donc

$$N = \frac{D}{\varepsilon_c} = \frac{\alpha_0 f'_1}{\varepsilon_c} \simeq 80.$$

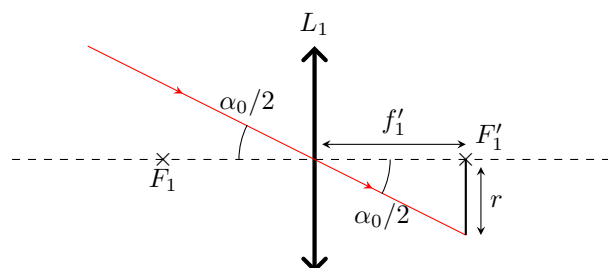


Figure 10 – Taille de l'image de Jupiter sur le capteur.

❖ *Barème : 4 points : 1.5 pour le diamètre, 1.5 pour le passage aux pixels, 1 pour la valeur numérique*

37 Pour augmenter la luminosité de sa photo, l'astronome peut augmenter le diamètre de l'objectif, ce qui semble compliqué ici, ou plus simplement **augmenter la durée d'exposition.**

❖ *Barème : 1 pt*

Tolérance de mise au point

38 Le stigmatisme est la capacité d'un système optique à **former une image ponctuelle à partir d'un point objet**. Si l'image d'un point de l'objet s'avère être une tâche plutôt qu'un point, l'image perd en netteté.

❖ *Barème : 1 point*

39 Raisonnons sur le schéma figure 11. Les rayons issus du point de Jupiter situé sur l'axe optique de L_1 arrivent sur la lentille parallèlement à l'axe optique et convergent au foyer image F' . Si le capteur n'est pas parfaitement placé au foyer image, on constate sur le schéma que les rayons ne convergent pas en un point mais s'étendent en une tâche circulaire dont on note le diamètre ε_t . Le résultat est le même quel que soit le signe de l'écart algébrique δ .

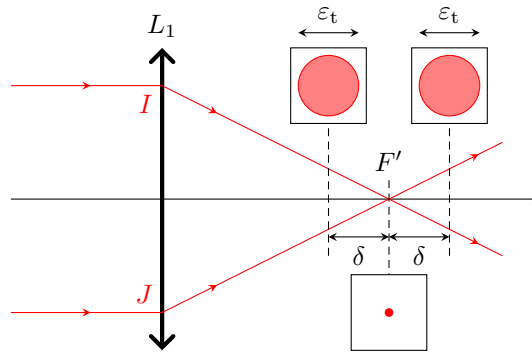


Figure 11 – Tache image due à un défaut de mise au point.

❖ *Barème : 2 points*

40 Le défaut de mise au point ne se remarque pas tant que la taille ε_t de la tâche image est inférieure à la taille ε_c d'un pixel. En supposant que les rayons passant par les extrémités de L_1 ne sont pas coupés par le porte-oculaire \mathcal{T}_2 , on a $IJ = d_1$ et d'après le théorème de Thalès,

$$\frac{d_1/2}{f'_1} = \frac{\varepsilon_t/2}{\delta} \quad \text{d'où} \quad \varepsilon_t = \frac{\delta d_1}{f'_1}.$$

La condition $\varepsilon_t < \varepsilon_c$ se traduit en terme de décalage δ par

$$\delta < \delta_{\max} = \frac{\varepsilon_c f'_1}{d_1} = 120 \mu\text{m}.$$

Pour que l'image soit parfaitement nette, le capteur doit être positionné très précisément.

❖ *Barème : 4 points : 1.5 pour Thalès, 1.5 pour le passage à δ , 1 pour la valeur numérique*

Oculaire de Barlow

41 Voir figure 12. Le rayon rouge et le début du rayon bleu servent à construire l'image intermédiaire A_1B_1 virtuelle. Le rayon auxiliaire orange et la suite du rayon bleu permettent de construire l'image finale, qui est l'image de A_1B_1 par la lentille L_3 .

❖ *Barème : 5 pts : 2 pour l'image intermédiaire, 2 pour l'image finale et 1 pour la propriété globale*

42 L'objet pour L_3 est l'image de Jupiter par L_1 . On sait qu'elle se trouve dans le plan focal image de L_1 . Ainsi, en notant O_c le centre du capteur où se trouve l'image finale, la relation de grandissement donne

$$\frac{\overline{O_3 O_c}}{\overline{O_3 F'_1}} = 3 \quad \text{donc} \quad \overline{O_3 F'_1} = \frac{1}{3} \overline{O_3 O_c} \quad \text{soit} \quad \overline{O_3 O_1} + \overline{O_1 F'_1} = \frac{1}{3} \overline{O_3 O_c}$$

En remplaçant les distances algébriques par les paramètres géométriques de la lunette,

$$-D_{13} + f'_1 = \frac{D_{3c}}{3} \quad \text{d'où} \quad D_{13} = f'_1 - \frac{D_{3c}}{3} = 1933 \text{ mm}.$$

La relation conjugaison de Descartes appliquée à L_3 donne ensuite

$$\frac{1}{\overline{O_3 O_c}} - \frac{1}{\overline{O_3 F'_1}} = \frac{1}{f'_3} \quad \text{soit} \quad \frac{1}{\overline{O_3 O_c}} - \frac{3}{\overline{O_3 O_c}} = \frac{1}{f'_3}$$

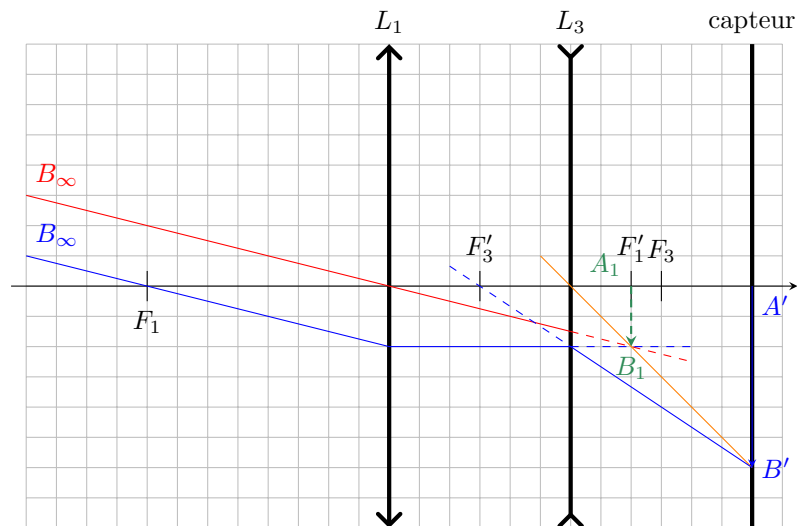


Figure 12 – Marche des rayons dans une lunette astronomique avec oculaire de Barlow. Version couleur sur le site de la classe.

d'où

$$f'_3 = -\frac{D_{3c}}{2} = -100 \text{ mm} .$$

La lentille est divergente, il est donc normal de trouver $f'_3 < 0$.

❖ *Barème : 5 points*

43 Comme indiqué question 36, la taille de l'image sur le capteur sans oculaire est directement proportionnelle à la distance focale image de l'objectif L_1 . L'oculaire de Barlow permet d'obtenir une image trois fois plus grande sur le capteur, ce qui nécessiterait de tripler la focale de la lentille objectif si on voulait l'utiliser seule. L'intérêt de l'oculaire est bien sûr un encombrement bien moindre.

❖ *Barème : 1 point*