**Fiche exo Type 1 : Optique / Mécanique céleste / Diffraction et interférence / Mécanique du point : lancer de projectile et énergétique /**

**Q1. Énoncer les relations de conjugaison d'une lentille et du grandissement**

**Soit une lentille L de centre optique O, un point A et son image A' à travers la lentille :**

- **Relation de conjugaison :** $\frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{\overline{OA}} + \frac{1}{f'}$ (les distances $\overline{OA'}\, et\, \overline{OA'}$ sont algébriques dont positives ou négatives).

- **Grandissement :**

$$\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$$

$\overline{AB}\ et\ \overline{AB}'$ représentent respectivement les tailles algébriques de l'objet et de l'image.

**Remarque :** la relation de conjugaison est utilisée pour déterminer la position de l'image, c'est-à-dire la distance OA'. Le grandissement lui vise plutôt à déterminer la taille de l'image, c'est-à-dire la distance $\overline{AB}'$.

**Q2. Définition d'un instrument optique afocal et conditions pour qu'un instrument optique soit afocal**

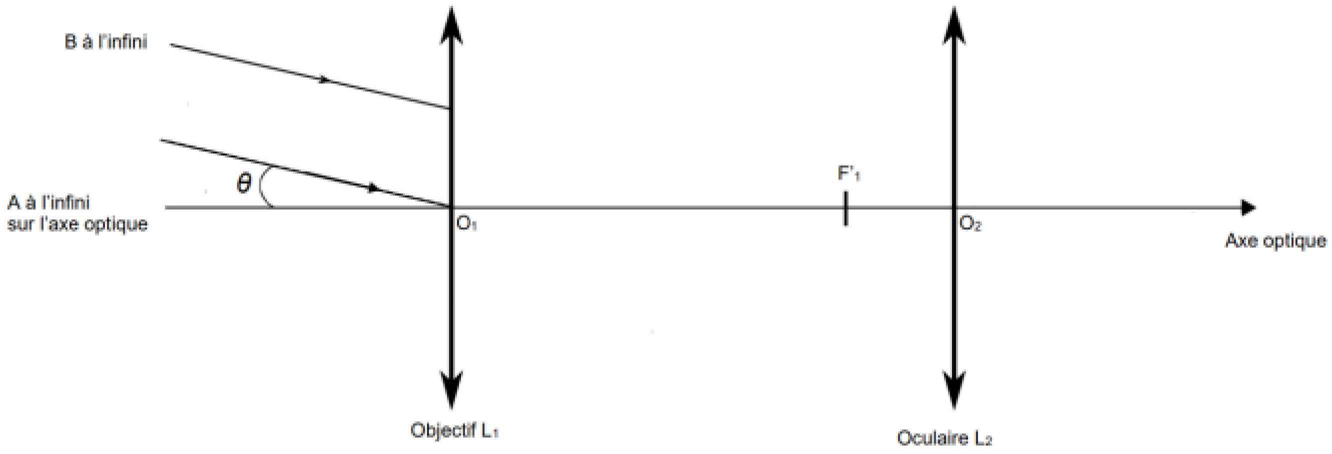
**Contexte : observation d'une planète à travers une lunette astronomique (lunette de Huygens dans le cadre de la question Q1) -** (BAC 2023 métropole 1 – Exercice 1 – Q1).

Un instrument optique est dit afocal lorsque pour un objet observé à l'infini, il donne une image également observée à l'infini. L'avantage d'un tel dispositif est qu'il permet à l'œil humain de voir l'image sans accommodation. Si l'on souhaite avoir une lunette astronomique afocale, il suffit de s'assurer que le foyer objet $F_2$ de la lentille $L_2$ (oculaire) est confondu avec le foyer image $F'_1$ de la lentille $L_1$ (objectif).

**Q3.** Construction d'une image provenant de l'infini (c'est en général le cas lorsqu'on travaille avec une lunette astronomique) à travers une lunette astronomique

<u>**Etape 1**</u> : identifier sur le plan de la lunette l'objectif et l'oculaire. L'objectif est la lentille qui reçoit les rayons incidents. L'oculaire est la lentille qui forme l'image finale observée à travers la lentille.

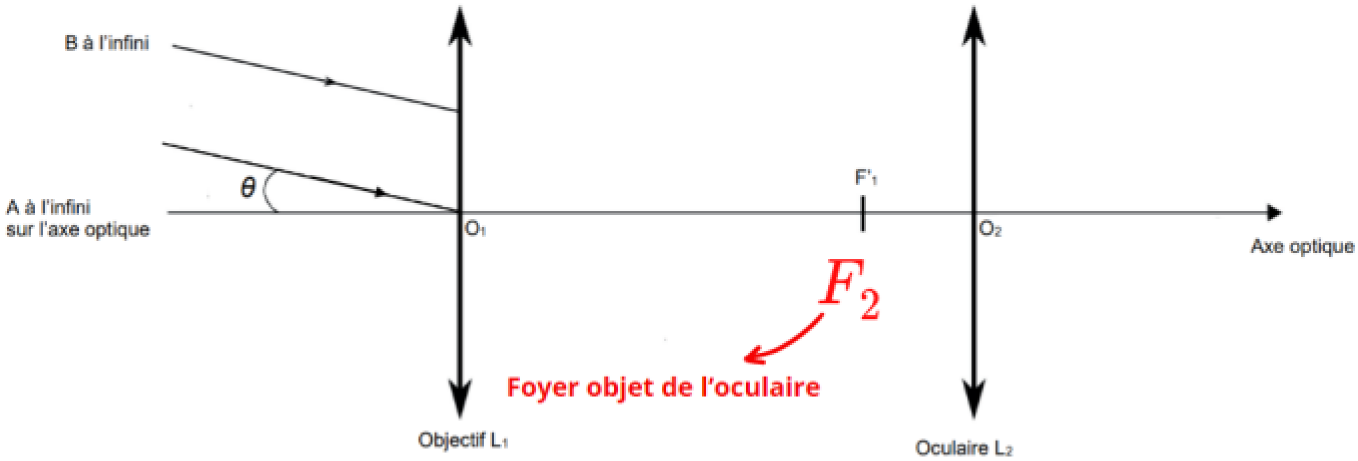
*Schéma de principe* :




Sur la figure, les rayons arrivent bien sur la lentille de gauche, il s'agit donc de l'objectif. On en déduit que la deuxième lentille représente l'oculaire.

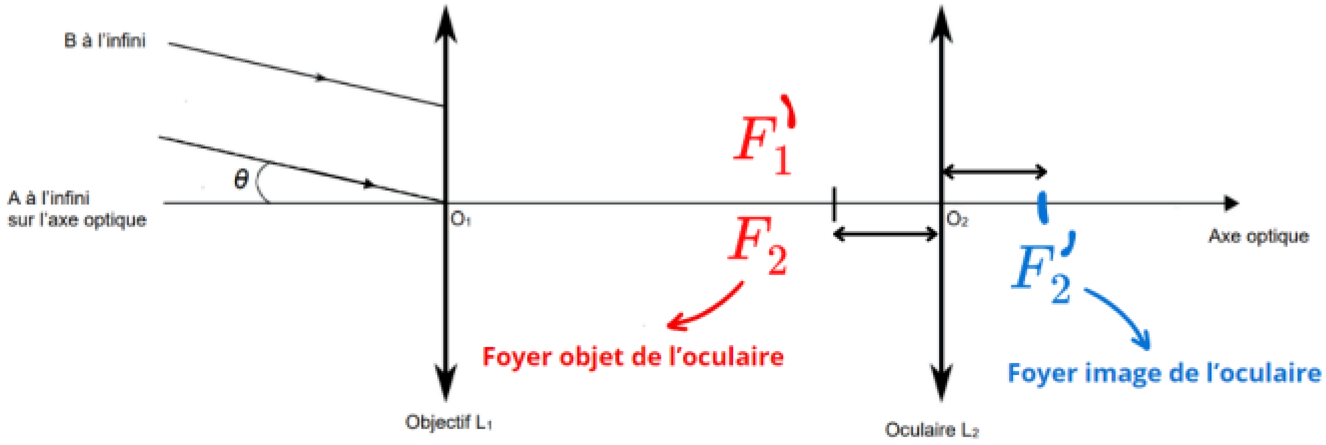
**<u>Etape 2</u>** : Placer les foyers objet et image de l'oculaire dans le cas d'une lunette afocale (voir BAC 2023 Métropole 1 – Exercice 1 - Q2)

Pour une lunette afocale, nous avons précisé (voir Q2) que **le foyer image de la première lentille** (le foyer image est le foyer situé après la lentille, ici il s'agit donc de F1' pour la première lentille) **est confondu au foyer objet de la deuxième lentille** (le foyer objet est le foyer situé avant la lentille). Autrement dit, **le foyer objet F2** de la deuxième lentille **est confondu avec le foyer image $F_1'$**. On doit donc le placer



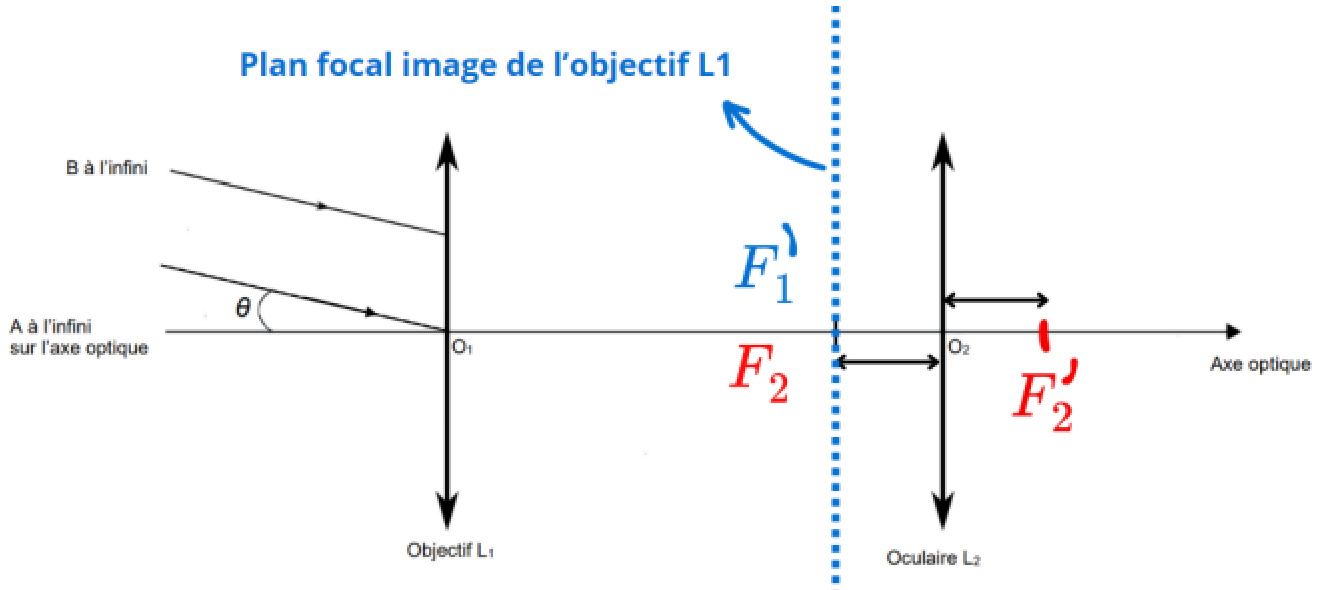

comme sur l'image suivante :

On place ensuite le foyer image $F_2'$ de l'oculaire. Ce dernier est symétrique au foyer objet par rapport au centre de la 2e lentille $L_2$ (l'oculaire). On obtient alors la figure suivante :

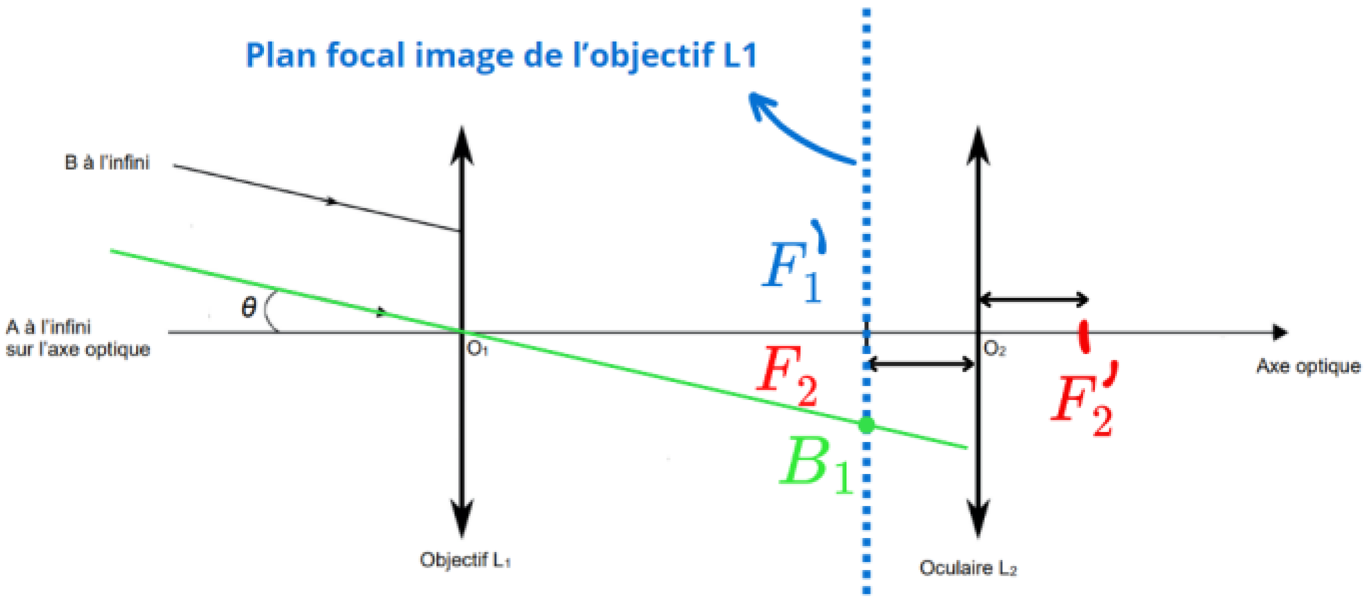



**Etape 3** : construire la première image à travers l'objectif et construire la marche des rayons (voir BAC 2023 Métropole 1 – Q3)

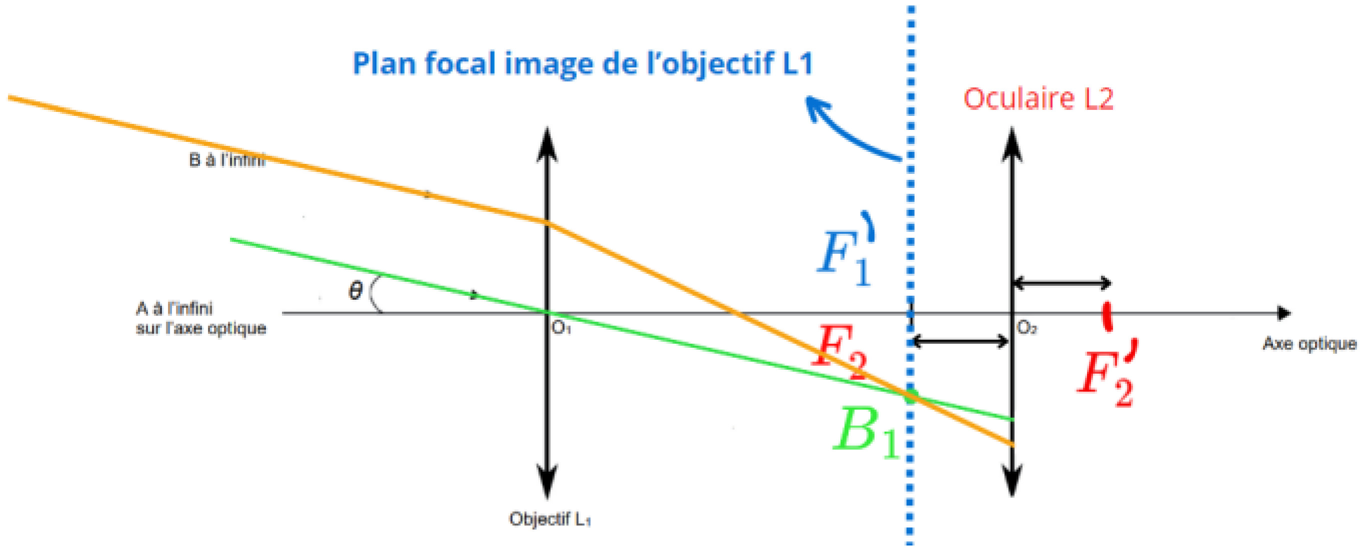
Sur notre figure, l'objet B est situé à l'infini, l'image intermédiaire $B_1$ se forme ainsi dans le plan focal image de la lentille $L_1$. Représentons tout d'abord le plan focal image de la première lentille :




Nous allons ensuite construire la marche du rayon passant par le centre de la lentille, il s'agit du rayon en vert sur la figure suivante, ce rayon ressort de la lentille sans être dévié. L'intersection entre ce rayon et le plan focal image nous donne l'image du point B. Nous noterons $B_1$ l'image du point B à travers la première lentille. On obtient la figure :




On peut également construire la marche du deuxième rayon. Ce rayon ressortira de la lentille $L_1$ en passant par le point $B_1$. Il s'agit du rayon en orange sur la figure ci-après :

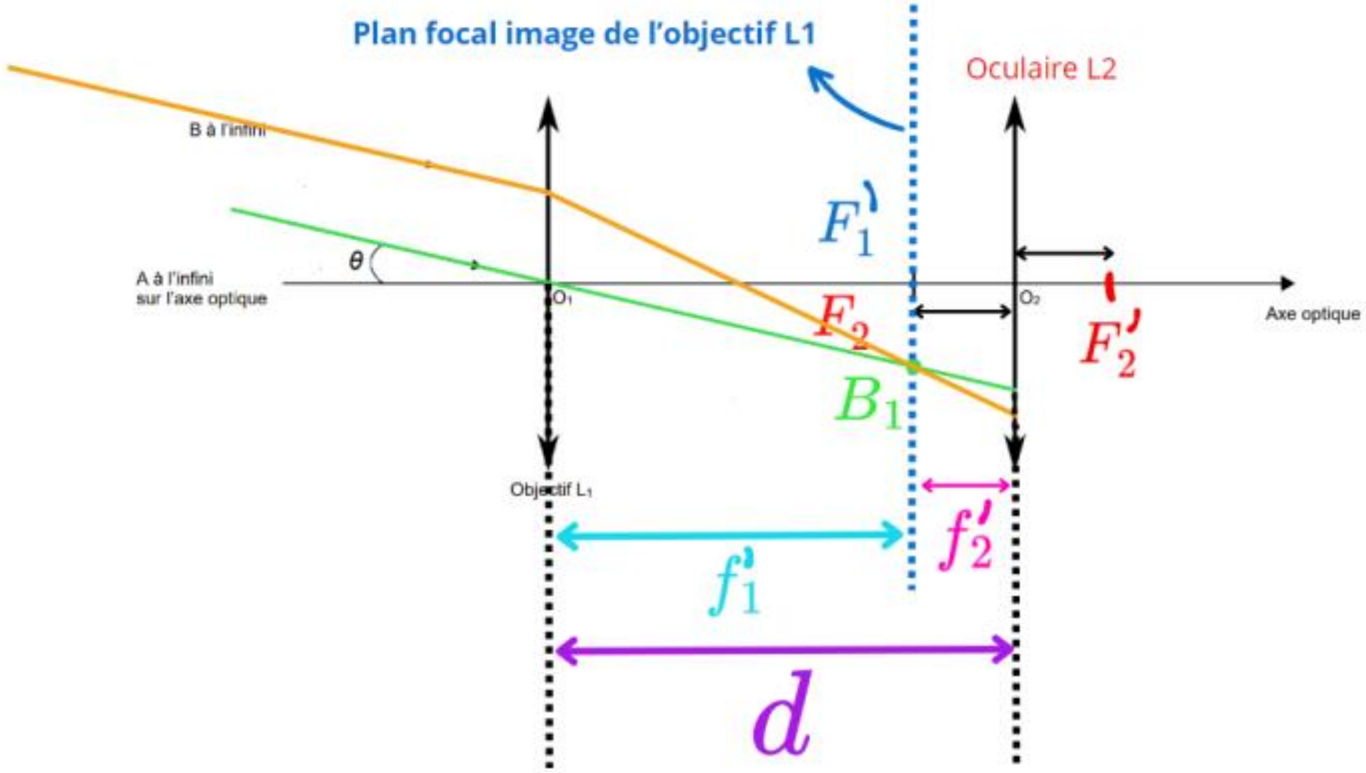



**Q4.** Vérifier qu'une lentille est afocale à partir des données de l'exercice (voir BAC Métropole 1 – 2023 – Exo 1 – Q4)

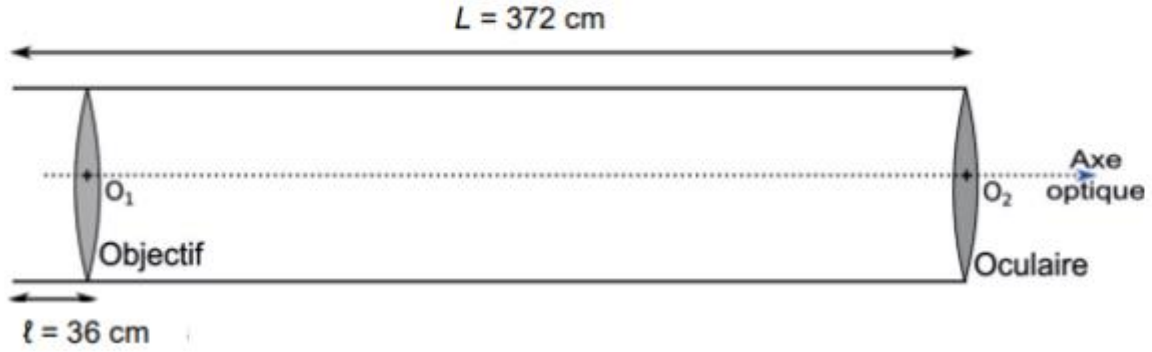
Pour cette question, il s'agit en général de vérifier que la distance $\boldsymbol{d}$ entre l'objectif (la première lentille qui reçoit les rayons à l'infini) et l'oculaire (la deuxième lentille) est exactement égale à la somme de la distance focale de la première lentille et de la deuxième lentille.

La distance focale de la première lentille est $\boldsymbol{f'_1 = O_1F_1'}$ et celle de la deuxième lentille est $\boldsymbol{f'_2 = O_2F'_1 = O_2F_2}$.

Cela est symbolisé sur la figure suivante :




**Exemple** : Considérons deux lentilles $L_1$ et $L_2$ de distances focales respectives $f_1^{'} = 329$ **cm** et $f_2^{'} = 7,0$ **cm**. On considère également le schéma de principe ci-dessous représentant la lunette astronomique :




**Etape 1** : on commence par déterminer à l'aide de cette figure la distance $d$ entre les deux lentilles. On a :

$$d = L - l = 372 - 36 = 336\ cm$$

**Etape 2** : pour vérifier si la lunette est afocale, on calcule ensuite la somme des distances focales et on vérifie si cette somme est égale à la distance $d$ entre les deux lentilles. On aurait :

$f_1^{'} + f_2^{'} = 329 + 7,0 = 336$ **cm** $= d$

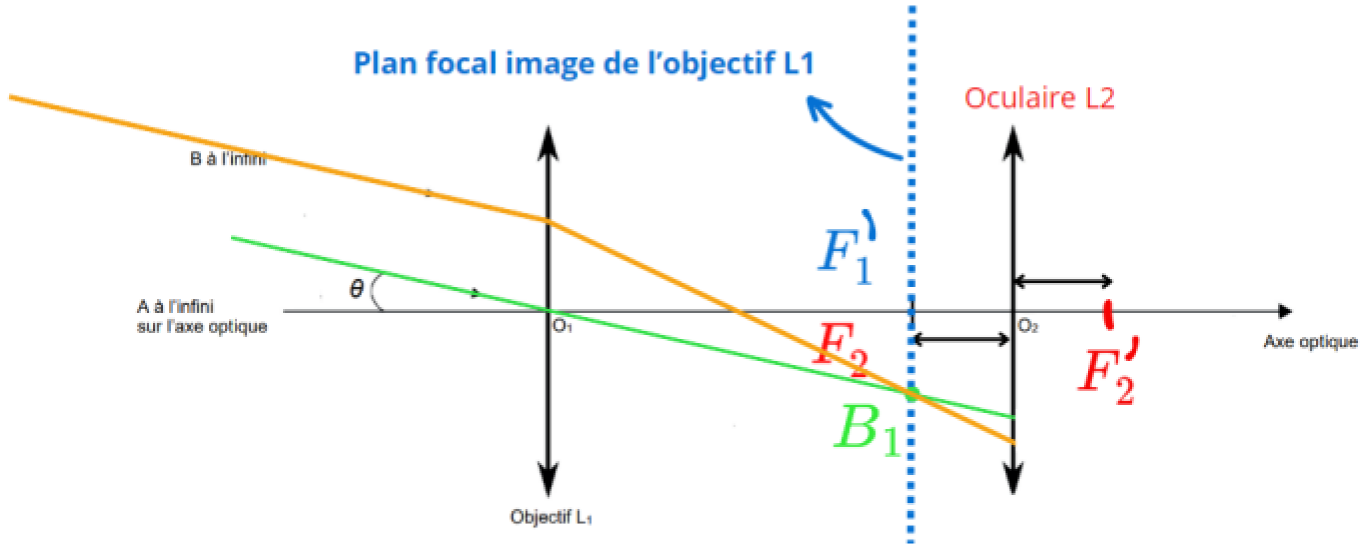
On en conclut que la lunette est afocale.

**Q5. Représenter l'angle $\theta'$ sous lequel l'observateur voit l'image en sortie de la lentille**

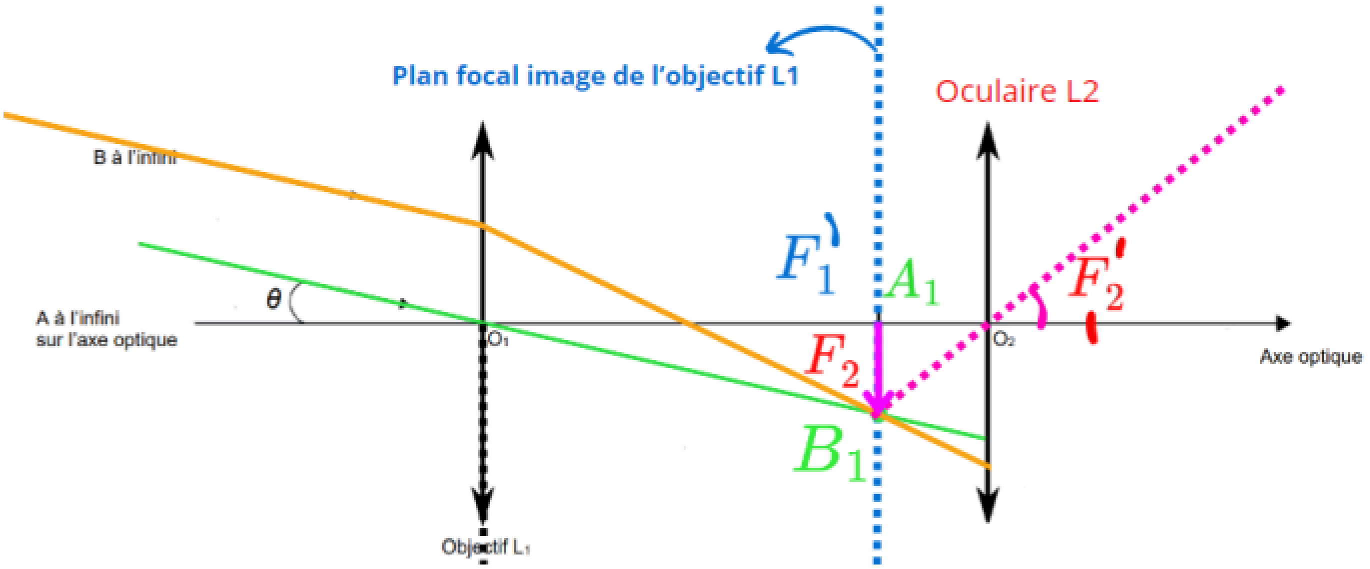
Pour ce faire, nous devons d'abord représenter la marche des rayons à travers la deuxième lentille et ensuite nous pourrons placer l'angle sous lequel l'objet est vu.

__Etape 1__ : représenter la marche des rayons à travers la 2e lentille (l'oculaire).

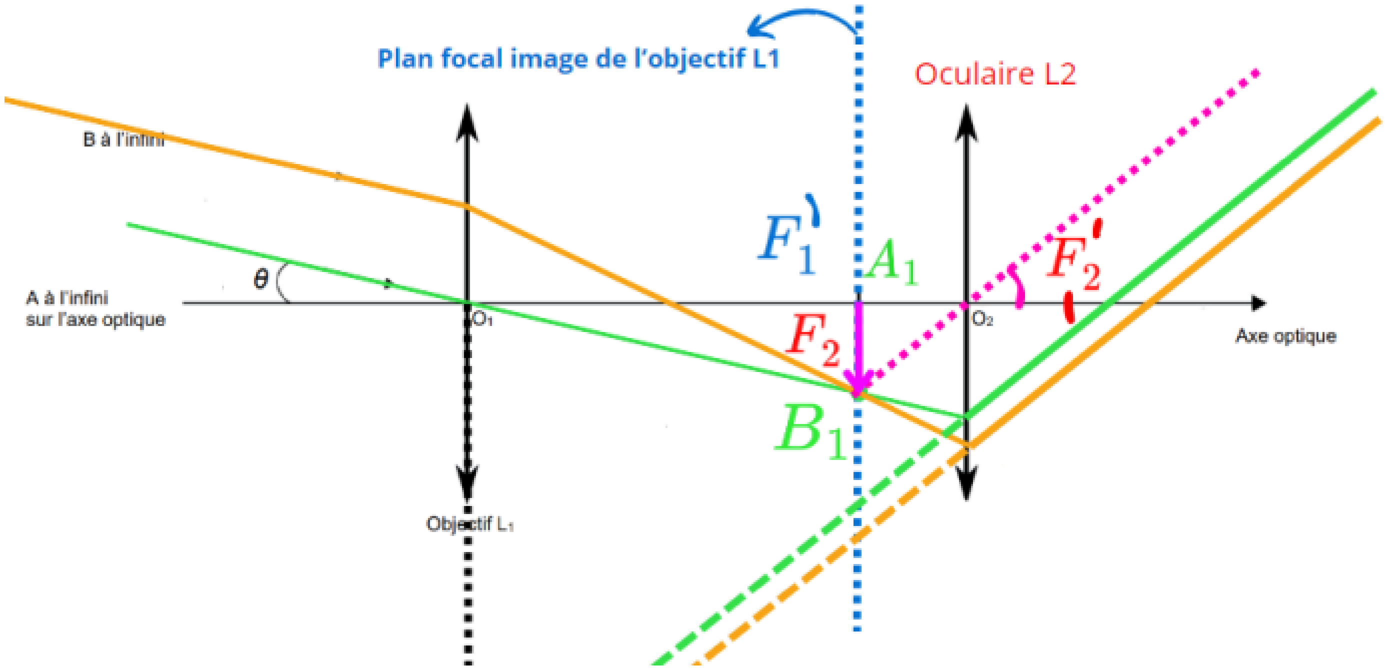
On part de la situation suivante :



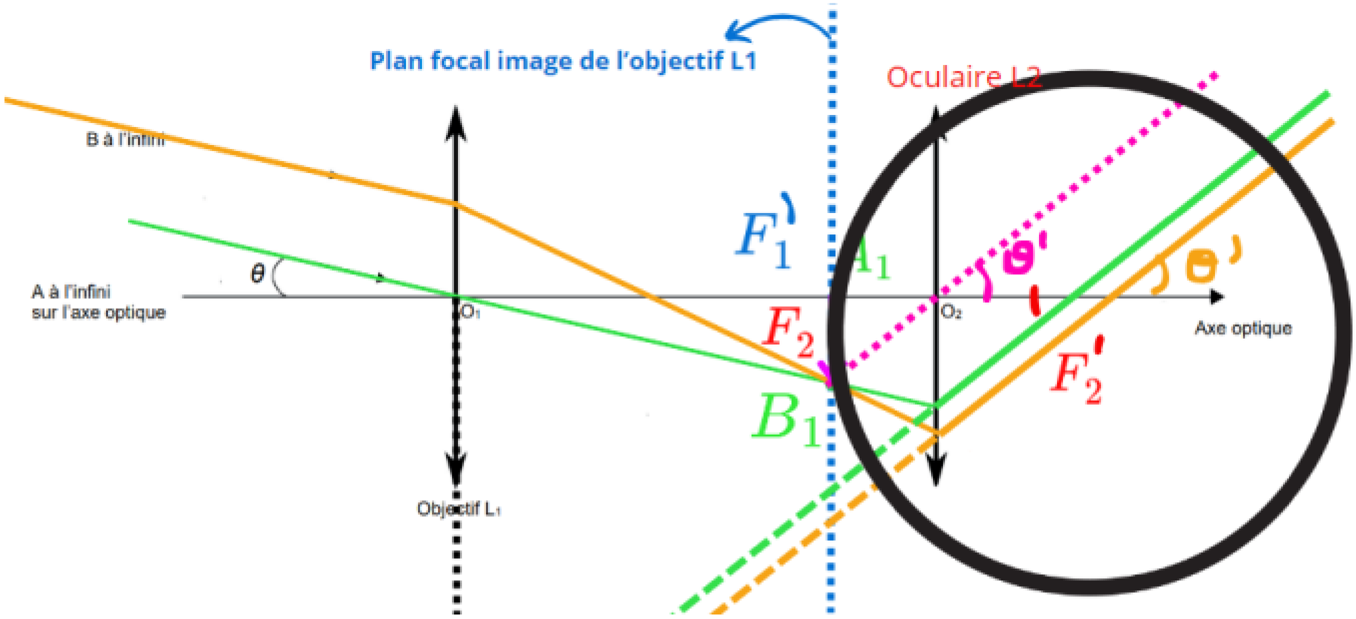

On construit le rayon issu de $B_1$ passant par le centre de centre de la 2e lentille (rayon en rose sur la figure suivante) :




On construit ensuite la marche des rayons orange et vert issus de $B_1$. Comme ces rayons partent du point $B_1$ qui est **dans le plan focal objet**, ils ressortent en étant **parallèles les uns par rapport aux autres** et donc parallèles au premier rayon que nous avons tracé (le rayon rose). On obtient alors la figure suivante :




**Etape 2** : nous pouvons à présent représenter l'angle $\boldsymbol{\theta'}$ sous lequel l'objet est vu.




**Q6.** Rappeler l'expression du grossissement d'une lunette astronomique (voir BAC Métropole 1 2023 – exo 1 – Q6)

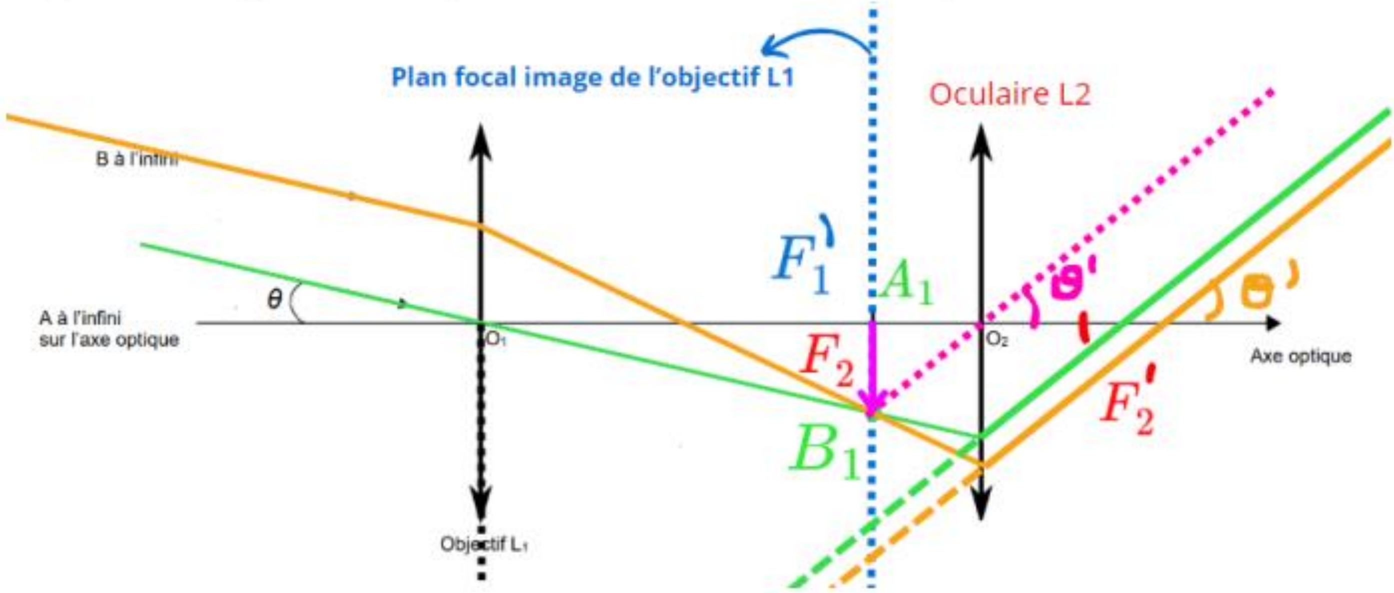
Avec les notations de la figure précédente (Q4), on a :

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

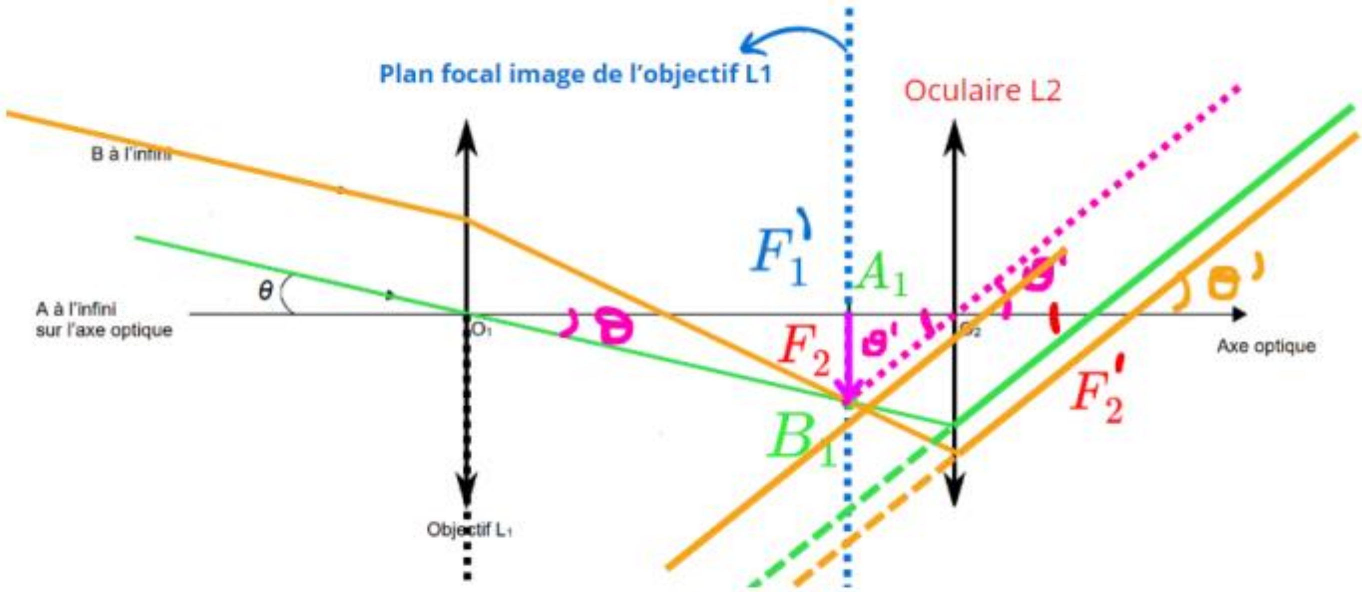
**Q7.** Retrouver l'expression du grossissement d'une lunette astronomique + applications (voir BAC Métropole 1 2023 – exo 1 – Q7)

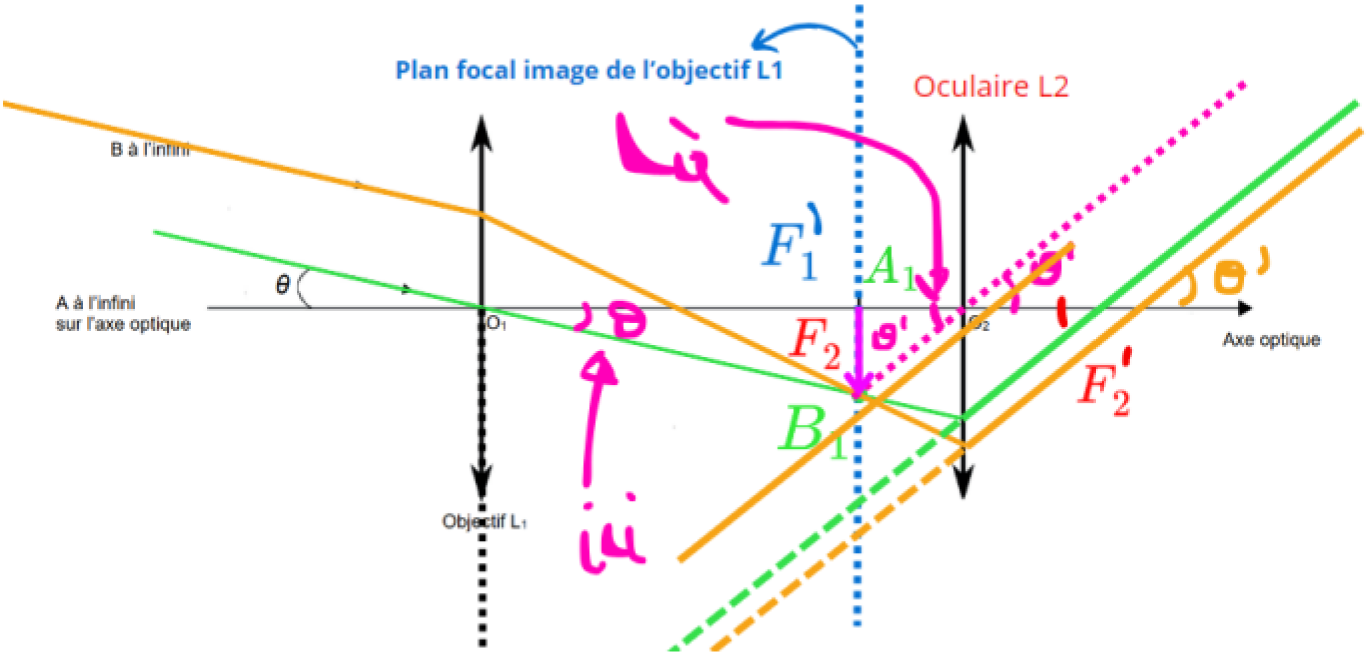
L'expression à retrouver est $G = \frac{f_1'}{f_2'}$

**Etape 1** : faire apparaître l'image intermédiaire $A_1B_1$ si ce n'est déjà fait :




**Etape 2** : faire apparaitre l'angle $\theta$ dans le triangle $O_1A_1B_1$ et l'angle $\theta'$ dans le triangle $O_2A_1B_1$ comme sur la figure ci-dessous :






**Etape 3** : exploiter les triangles $O_1A_1B_1$ et $O_2A_1B_1$ grâce à la formule de la tangente

On rappelle que $tan\,\theta = \frac{côté\ opposé}{côté\ adjacent}$

Dans le triangle $O_1A_1B_1$ le côté opposé à l'angle $\theta$ est $A_1B_1$ et le côté adjacent est $O_1A_1$, on obtient donc :

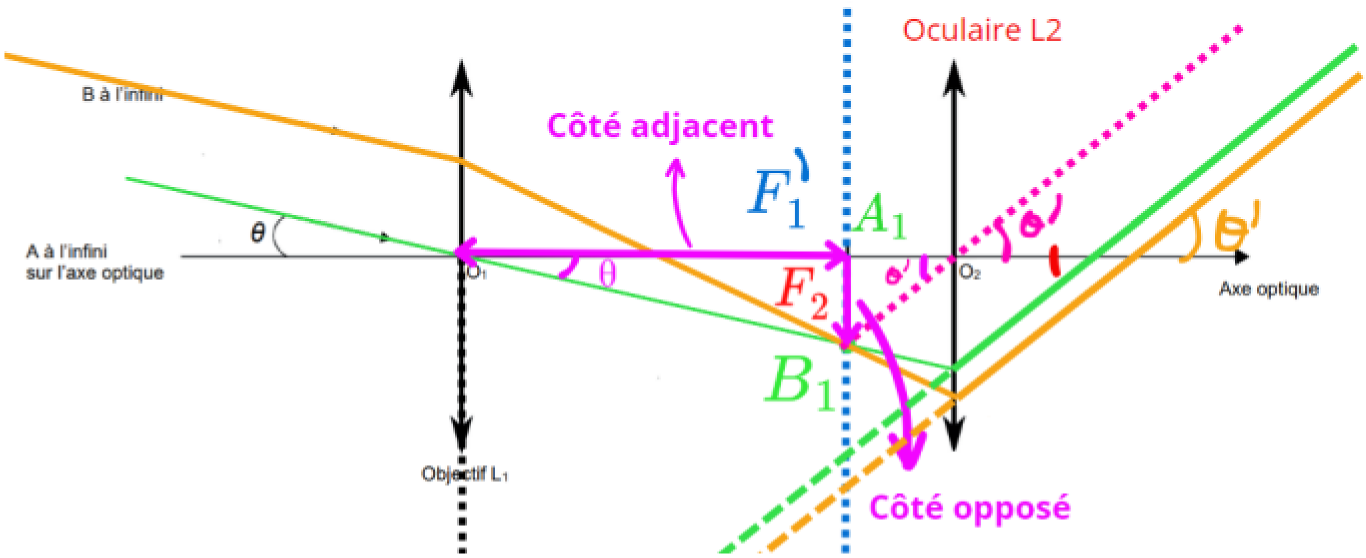
$$tan\,\theta = \frac{A_1B_1}{O_1A_1}$$

Pour rappel, la distance $O_1A_1$ représente la distance focale $f_1'$ de la première lentille. On a ainsi : $tan\,\theta = \frac{A_1B_1}{f_1'}$ *(1)*.

Les angles d'observation à travers la lunette sont considérés comme petits. Avec l'approximation des petits angles, cela s'écrit $tan\,\theta \approx \theta\ (relation\ valable\ uniquement\ en\ radians)$.

La relation *(1)* s'écrit alors :

$$tan\,\theta\ \approx\ \theta = \frac{A_1B_1}{f_1'}\ (2).$$




On procède exactement de même pour le triangle $O_2A_1B_1$.

Dans le triangle $O_2A_1B_1$ le côté opposé à l'angle $\theta'$ est $A_1B_1$ et le côté adjacent est $O_2A_1$, on obtient donc :

$$tan\,\theta' = \frac{A_1B_1}{O_2A_1}$$

Pour rappel, la distance $O_2A_1$ représente la distance focale $f_2'$ de la première lentille. On a ainsi : $tan\,\theta = \frac{A_1B_1}{f_2'}$ *(3)*.

Les angles d'observation à travers la lunette sont considérés comme petits. Avec l'approximation des petits angles, cela s'écrit $tan\,\theta' \approx \theta'$.

La relation *(3)* s'écrit alors :

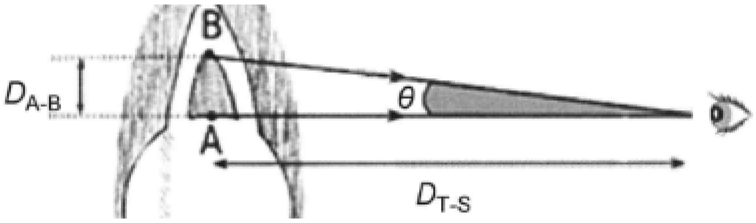
$$tan\,\theta' \approx \theta' = \frac{A_1B_1}{f_2'} \ \textit{(4)}.$$

D'après la question 5 et par définition :

$$G = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{\frac{A_1B_1}{f_2'}}{\frac{A_1B_1}{f_1'}} = \frac{A_1B_1}{f_2'} \times \frac{f_1'}{A_1B_1} = \frac{f_1'}{f_2'}$$

**<u>Application (voir BAC 2023 Métropole 1 – Q8 et Q9)</u>** :

La situation ci-dessous représente l'angle sous lequel la planète est vue depuis la terre sans lunette :



(figure 1)

On donne $D_{A-B} = 3{,}17 \times 10^4$ km $et$ $D_{T-S} = 1{,}42 \times 10^9$ km

L'utilisateur se sert ensuite d'une lunette astronomique pour observer la planète. La lunette a les caractéristiques suivantes : $f_1' = 329\ cm\ et\ f_2' = 7\ cm.$

**Question** : sous quel angle l'objet est-il vu à travers la lunette ?

**Solution** : Il s'agit de trouver ici l'angle $\theta'$ sous lequel l'objet est vu. Pour ce faire nous allons utiliser la formule du grossissement. On a ainsi :

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

De cette expression on exprime l'angle $\theta'$ par :

$\theta' = \frac{f_1'}{f_2'} \times \theta$ (1)

Il nous manque alors l'angle $\theta$ sous lequel l'objet est reçu par l'objectif de la lunette. Il s'agit en fait de l'angle sous lequel l'objet est vu sans lunette astronomique.

Nous pouvons ainsi nous servir de la figure 1. On exprime la tangente de l'angle en nous servant de l'approximation des petits angles :

$tan\,\theta = \frac{D_{A-B}}{D_{T-S}} \approx \theta$ (2)

On remplace ensuite l'expression de l'angle $\theta$ dans la relation (1), il vient :

$\theta' = \frac{f_1'}{f_2'} \times \frac{D_{A-B}}{D_{T-S}}$

L'application numérique nous permet de trouver :

$$\boldsymbol{\theta' = 1,0 \times 10^{-3}}\ \textbf{rad}$$

**Remarque** : dans le cadre d'un exercice, cette valeur est à comparer à une valeur limite permettant de distinguer ou non l'objet à travers une lunette. Nous allons analyser deux cas :

- **Cas 1** : l'angle $\theta'$ doit être supérieur au pouvoir séparateur de l'œil humain pour que l'image soit bien observée à travers la lunette. Le pouvoir séparateur est caractérisé par l'angle $\theta_s = 3{,}0 \times 10^{-4}$ rad. On a bien $\theta' = \theta_s$. La condition sur le pouvoir séparateur de l'œil humain est bien respectée. (voir BAC Métropole 1 – Exercice 1 – Q9)

- **Cas 2** : le phénomène de diffraction est suffisamment important pour empêcher que l'objet soit visible à travers la lunette. Cette condition porte sur l'angle $\theta$ sous lequel l'objet est vu depuis la terre. La diffraction à travers la lunette influence la valeur de cet angle de sorte que l'objet n'est pas vu sous un angle $\theta$ mais sous un angle $\theta_{diff} = 1{,}22.\frac{\lambda}{a}$ où $\lambda$ représente la longueur du faisceau incident et $a$ le diamètre de l'objectif (première lentille de la lunette).

*Condition de formation d'un objet visible* : si l'angle $\theta_{diff}$ (qui est donc l'angle réel sous lequel l'objet arrive sur la lunette) est supérieur à l'angle $\theta$, l'objet n'est pas vu à travers la lunette.

**Application (cas 2 – voir BAC Métropole 1 – Exercice 1 – Q10)** : on considère une planète vue depuis la terra avec un angle $\theta = 2{,}23 \times 10^{-5}$ rad. On objet cette planète à l'aide d'une lunette astronomique. La longueur d'onde du faisceau incident reçu est : $\lambda = 550\ nm$ et le diamètre de l'objectif vaut $a = 29{,}0$ mm (attention, cette valeur est souvent à retrouver plus loin dans l'énoncé dans le tableau synthétisant les caractéristiques de la lunette).

**Question 1** : l'objet est-il vu depuis la terre sans lunette ? *Non, on a $\theta < \theta_s$, donc l'angle d'observation est inférieur au pouvoir séparateur de l'œil.*

**Question 2** : le phénomène de diffraction empêche-t-il que l'objet soit vu à travers la lunette ?

*On calcule pour cela l'angle de diffraction à l'aide de la formule $\theta_{diff} = 1{,}22.\frac{\lambda}{a}$. Avec les valeurs de l'énoncé, on trouve $\theta_{diff} = 2{,}31 \times 10^{-5}\ rad$. Ainsi on a $\theta_{diff} > \theta$. La diffraction empêche donc l'objet d'être vu à travers la lentille.*

**Q8. Donner l'expression de la force gravitationnelle dans le cas du mouvement de planètes, d'étoiles ou de satellites (Voir BAC Métropole 1 – Exercice 1 – Q12)**

**Etape 1** : identifier clairement l'attracteur et le système. Dans certains exercices, cette étape peut être floue (**voir par exemple BAC 2023 – Centres étrangers 1 – Exercice 2**), une astuce consiste à identifier le système étudié à travers les questions suivantes. Par exemple si on vous demande de conclure sur la nature du mouvement d'une étoile, cela signifie qu'il s'agit du système étudié (il ne s'agit donc pas de l'attracteur). On peut également se baser sur des phrases du type *« la force gravitationnelle exercée par l'étoile X sur la planète P ». En effet, c'est l'attracteur qui exerce la force gravitationnelle. Ici ce serait donc l'étoile X.*

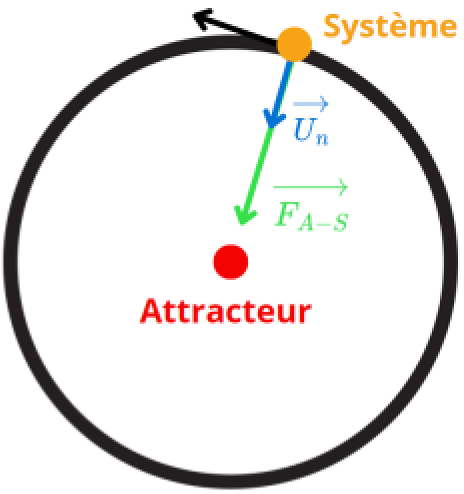
**Etape 2** : conclure. Notons $M_A$ la masse de l'attracteur et $M_s$ la masse du système, la force gravitationnelle a pour expression :

$$\overrightarrow{F_{A/S}} = G\,\frac{M_A.M_S}{d_{A-S}^2}\overrightarrow{u_n}$$

Avec $d_{A-S}$ la distance séparant le centre de masse de l'attracteur (souvent associé au centre de l'attracteur) et celui du système étudié. Le vecteur $\overrightarrow{u_n}$ représente le vecteur normal de la base de

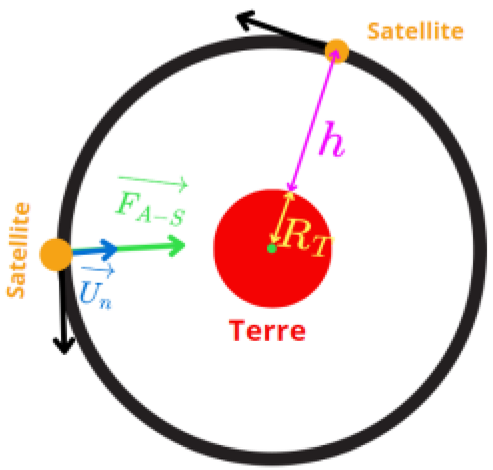
Frenet orienté du Système vers l'attracteur. Notons que la force d'attraction est normale et orientée vers l'attracteur.

On a synthétisé les différents éléments sur la figure suivante (cas d'une trajectoire circulaire) :




Cas des mouvements satellitaires : attention, la distance d est bien celle partant du centre de l'attracteur au centre du système. Dans le cadre du mouvement d'un satellite, il s'agira ainsi de la distance partant du centre de la terre au centre du satellite ainsi on aura $d_{A-S} = R_T + h$ où $h$ est la distance séparant le centre du satellite à la surface de la terre (on parle de hauteur du satellite). La force gravitationnelle s'écrirait alors :

$$\overrightarrow{F_{A/S}} = G\,\frac{M_A.M_S}{(R_T+h)^2}\,\overrightarrow{u_n}$$




**Q9. Appliquer la deuxième loi de Newton pour retrouver l'expression de la vitesse d'un système dans le cadre d'un mouvement des astres (planètes, satellites, étoiles) (voir BAC 2023 Métropole 1 – Exercice 1 – Q13)**

**Etape 1** : identifier le système (voir Q8). Notons $M_S$ la masse de notre système et $M_A$ la masse de l'attracteur.

**Etape 2** : identifier le référentiel en le supposant galiléen (condition *sine qua non* pour pouvoir appliquer la 2e loi de Newton.

*Exemple 1* : si l'on étudie le mouvement d'une exoplanète en orbite autour de Jupiter. Nous allons considérer le **référentiel jupitérocentrique supposé galiléen** (voir BAC 2023 Métropole 1 – Exercice 1 – Q13)

*Exemple 2* : si l'on étudie le mouvement d'un satellite géostationnaire autour de la terre, on se placera dans le référentiel **géocentrique supposé galiléen.**

*Exemple 3* : si l'on étudie le mouvement de Mars autour du soleil, on se placera dans le référentiel **héliocentrique supposé galiléen.**

**Etape 3** : faire l'inventaire des forces. Sauf mention contraire de l'exercice, il faut considérer que la force d'attraction gravitationnelle exercée par l'attracteur sur le système est la seule force qui s'applique. On peut par exemple rédiger : *« Bilan des forces : la force gravitationnelle est la seule force qui s'applique sur le système ».*

**Etape 4** : exploiter la deuxième loi de newton pour déterminer l'expression vectorielle de l'accélération

Deuxième loi de Newton :

$$\sum \overrightarrow{F_{ext}} = \overrightarrow{F_{A/S}} = M_S.\vec{a}$$

Or :

$$\overrightarrow{F_{A/S}} = G\frac{M_A.M_S}{d_{A-S}^2}\overrightarrow{u_n} \text{ (voir Q7)}$$

*Ainsi on en déduit :*

$$G.\frac{M_A.M_S}{d_{A-S}^2}.\overrightarrow{u_n} = M_S.\vec{a}$$

On simplifie la masse du système de part et d'autre, il vient :

$$G.\frac{M_A}{d_{A-S}^2}.\overrightarrow{u_n} = \vec{a} \text{ soit : } \boldsymbol{\vec{a} = G.\frac{M_A}{d_{A-S}^2}.\overrightarrow{u_n}}$$

**Etape 5** : exploiter les coordonnées de l'accélération dans le repère de Frenet pour conclure sur les caractéristiques de la vitesse

On a $\vec{a} = \frac{G.M_A}{{d_{A-S}}^2}.\overrightarrow{u_n}$.

Dans le repère de Frenet, pour un mouvement circulaire (ou assimilé à un mouvement circulaire) :

$\vec{a} = \frac{v^2}{R}.\overrightarrow{u_n} + \frac{dv}{dt}\overrightarrow{u_t}$ *(j'insiste ici sur le fait de connaître cette expression vectorielle sur le bout des doigts).*

*Dans le cadre que nous avons pris, on a* $R = d_{A-S}$.

On a donc deux expressions égales de l'accélération :

$$\vec{a} = \frac{G.M_A}{{d_{A-S}}^2}.\overrightarrow{u_n} = \frac{v^2}{d_{A-S}}.\overrightarrow{u_n} + \frac{dv}{dt}\overrightarrow{u_t}$$

$$\vec{a} = \frac{G.M_A}{{d_{A-S}}^2}.\overrightarrow{u_n} + 0.\overrightarrow{u_t} = \frac{v^2}{d_{A-S}}.\overrightarrow{u_n} + \frac{dv}{dt}\overrightarrow{u_t}$$

On procède par identification sur chaque axe :

- selon $\overrightarrow{u_t}$ :

$$\vec{a} = \frac{G.M_A}{{d_{A-S}}^2}.\overrightarrow{u_n} + \mathbf{0.\overrightarrow{u_t}} = \frac{v^2}{d_{A-S}}.\overrightarrow{u_n} + \boldsymbol{\frac{dv}{dt}\overrightarrow{u_t}}$$

On en conclut : $\frac{dv}{dt} = 0$ ainsi *v* est constante. Le mouvement du système est uniforme.

- selon $\overrightarrow{u_n}$ :

$$\vec{a} = \boldsymbol{\frac{G.M_A}{{d_{A-S}}^2}.\overrightarrow{u_n}} + 0.\overrightarrow{u_t} = \boldsymbol{\frac{v^2}{d_{A-S}}.\overrightarrow{u_n}} + \frac{dv}{dt}\overrightarrow{u_t}$$

On en conclut : $\frac{v^2}{d_{A-S}} = \frac{G.M_A}{{d_{A-S}}^2} \Leftrightarrow v^2 = \frac{G.M_A}{d_{A-S}} \Leftrightarrow v = \sqrt{\frac{G.M_A}{d_{A-S}}}$

**Q10. Exprimer la période de révolution d'un système dans le cadre d'un mouvement circulaire uniforme des astres**

Notons $v$ la vitesse constante du système (Q9) et $T_s$ sa période de révolution autour de l'attracteur. Notons également $R$ le rayon de la trajectoire. Avec les notations des questions précédents, on a toujours $R = d_{A-S}$.

Par définition : $v = \frac{d}{t}$ où $d$ est la distance parcourue par le système et $t$ le temps mis pour parcourir cette distance.

Pour une révolution, la distance parcourue correspond au périmètre de la trajectoire soit $d = 2\pi R$. Cette distance est parcourue en une période soit $t = T_s$. De fait, nous pouvons écrire :

$$v = \frac{d}{t} = \frac{2\pi R}{T_S} \quad (1)$$

Or nous avons vu que dans le cadre de notre mouvement (Q9) que :

$$v = \sqrt{\frac{G.M_A}{R}}$$

En remplaçant cette dernière expression dans la relation (1), on peut écrire :

$$v = \sqrt{\frac{G.M_A}{R}} = \frac{2\pi R}{T_S} \quad \textit{d'où :}$$

$$T_s = \frac{2\pi R}{\sqrt{\frac{G.M_A}{R}}} = \frac{2\pi R}{\frac{\sqrt{G.M_A}}{\sqrt{R}}} = \frac{\frac{2\pi R}{1}}{\frac{\sqrt{G.M_A}}{\sqrt{R}}} = \frac{2\pi R}{1} \times \frac{\sqrt{R}}{\sqrt{G.M_A}} = \frac{2\pi R \times \sqrt{R}}{1 \times \sqrt{G.M_A}} \quad (2)$$

Or $R = \sqrt{R^2}$ donc :

$$R \times \sqrt{R} = \sqrt{R^2} \times \sqrt{R} = \sqrt{R^2 \times R} = \sqrt{R^3}$$

On remplace cette expression dans le numérateur de la relation (2), il vient :

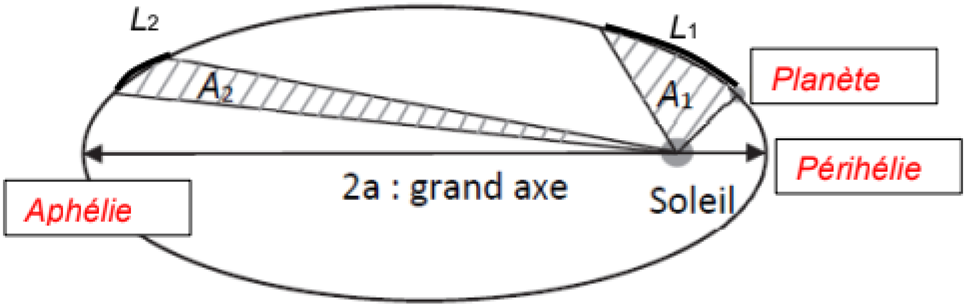
$$T_s = \frac{2\pi\sqrt{R^3}}{\sqrt{G.M_A}} = 2\pi \times \frac{\sqrt{R^3}}{\sqrt{G.M_A}} = 2\pi \times \sqrt{\frac{R^3}{G.M_A}}$$

**Attention** : en fonction de la question posée par l'énoncé, il faut savoir parvenir à l'une ou l'autre des formes des deux résultats en rouge. On rappelle que $M_A$ représente la masse de l'attracteur.

**Remarque** : certains exercices vous demanderont parfois de calculer le nombre d'orbites parcourues durant une durée t. Pour calculer ce nombre d'orbites, il suffit de se rappeler qu'une orbite est parcourue en une période et donc le nombre d'orbites parcourues durant la durée t est :

$$N = \frac{t}{T}$$

**Q11. Énoncer les deux premières lois de Kepler. Appliquer la deuxième loi de Kepler pour justifier qu'un mouvement en référentiel héliocentrique est non uniforme**




**<u>1ère loi de Kepler</u>** : dans le référentiel héliocentrique, chaque planète décrit une ellipse dont le Soleil occupe l'un des foyers.

**<u>2ème loi de Kepler</u>** : dans le référentiel héliocentrique, le rayon vecteur Soleil–Planète balaye des aires égales pendant des durées égales.

Pendant une durée $\Delta t$, la planète parcourt les arcs d'ellipse de longueur $L_1$ et $L_2$ telles que $L_1 > L_2$ comme représenté sur l'image.

Donc : $\frac{L_1}{\Delta t} > \frac{L_2}{\Delta t}$ soit $v_1 > v_2$ .

La vitesse de la planète varie, notamment au voisinage du point le plus proche du Soleil (périhélie) elle est plus grande que sa vitesse au voisinage du point le plus éloigné (aphélie).

Le mouvement de Mars n'est donc pas uniforme.

**Q12. Enoncer et appliquer la 3e loi de Kepler pour retrouver la valeur de la constante dans le cadre du mouvement des planètes**

Enonce la 3e loi de Kepler : $\frac{T_S^2}{R^3} = cte$

Avec R le rayon de la trajectoire $T_s$ la période de révolution du système

Reprenons le résultat de la question 9 pour avoir la période de révolution :

$$T_s = 2\pi \times \sqrt{\frac{R^3}{G.M_A}}$$ **avec $M_a$ : masse de l'attracteur (le soleil dans le cadre du mouvement des planètes).**

On élève cette relation au carré :

$$T_s^2 = 4\pi^2 \times \frac{R^3}{G.M_A}$$

$$\frac{T_s^2}{R^3} = 4\pi^2 \times \frac{1}{G.M_A} = \frac{4\pi^2}{G.M_A}$$

On obtient ainsi la valeur de la constante dans le cadre du mouvement des planètes.

**Supplément : exprimer alors le rayon de la trajectoire R**

On a :

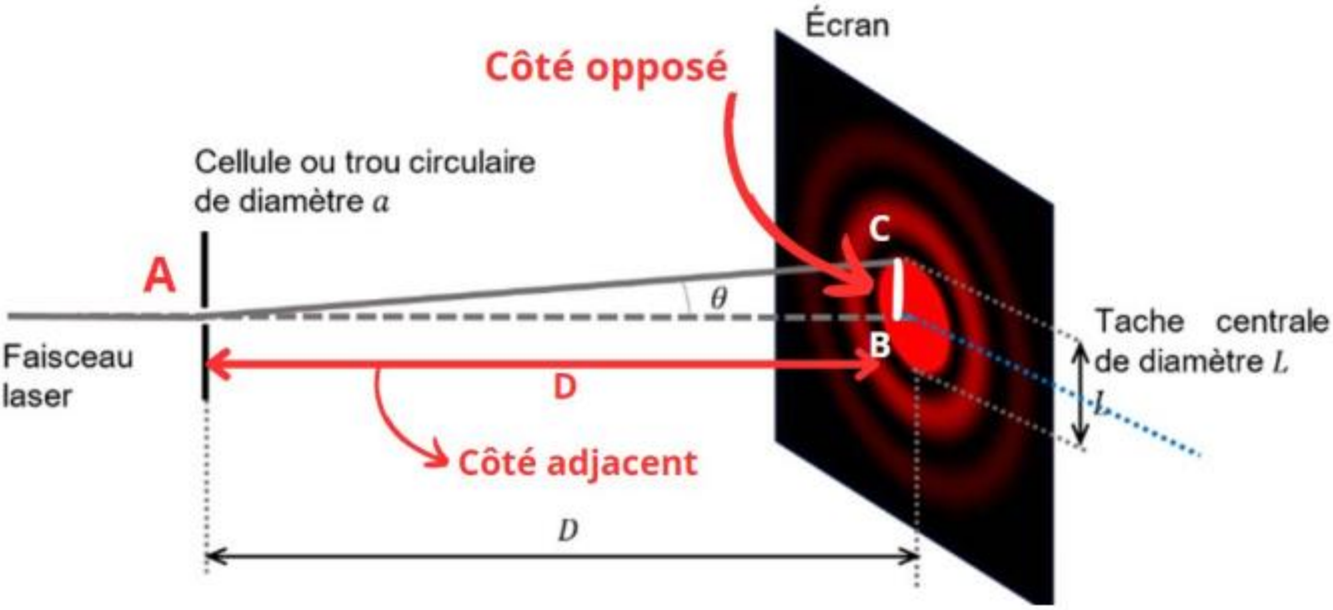
$$\frac{T_s^2}{R^3} = \frac{4\pi^2}{G.M_A}$$

$$\frac{T_s^2}{4\pi^2} = \frac{R^3}{G.M_A}$$

$$\frac{T_s^2 \times G.M_A}{4\pi^2} = R^3$$

$$R = \sqrt[3]{\frac{T_s^2 \times G.M_A}{4\pi^2}}$$

**Q13. Retrouver la relation entre l'angle de diffraction $\theta$, le diamètre L de la tâche centrale et la distance D séparant l'écran de la source**




**On se place dans le triangle ABC. On applique la formule de la tangente. Pour rappel :**

$$\boldsymbol{tan\,(\theta) = \frac{\text{côté } opposé}{\text{côté } adjacent}}$$

**Il vient** $\boldsymbol{tan(\theta) = \frac{BC}{D}}$ **(1)**

**Notons que** $\boldsymbol{BC = \frac{L}{2}}$ **, on remplace dans la relation (1), il vient :**

$$\boldsymbol{tan(\theta) = \frac{BC}{D} = \frac{\frac{L}{2}}{D} = \frac{\frac{L}{2}}{\frac{D}{1}} = \frac{L}{2} \times \frac{1}{D} = \frac{L}{2D}}$$

**Avec l'approximation des petits angles :** $\boldsymbol{tan(\theta) = \theta = \frac{L}{2D}}$

**Q14. Exprimer le diamètre d'une tâche en fonction de la longueur d'onde $\boldsymbol{\lambda}$**

On a $\theta = \frac{\lambda}{a}$ d'où $a = \frac{\lambda}{\theta}$

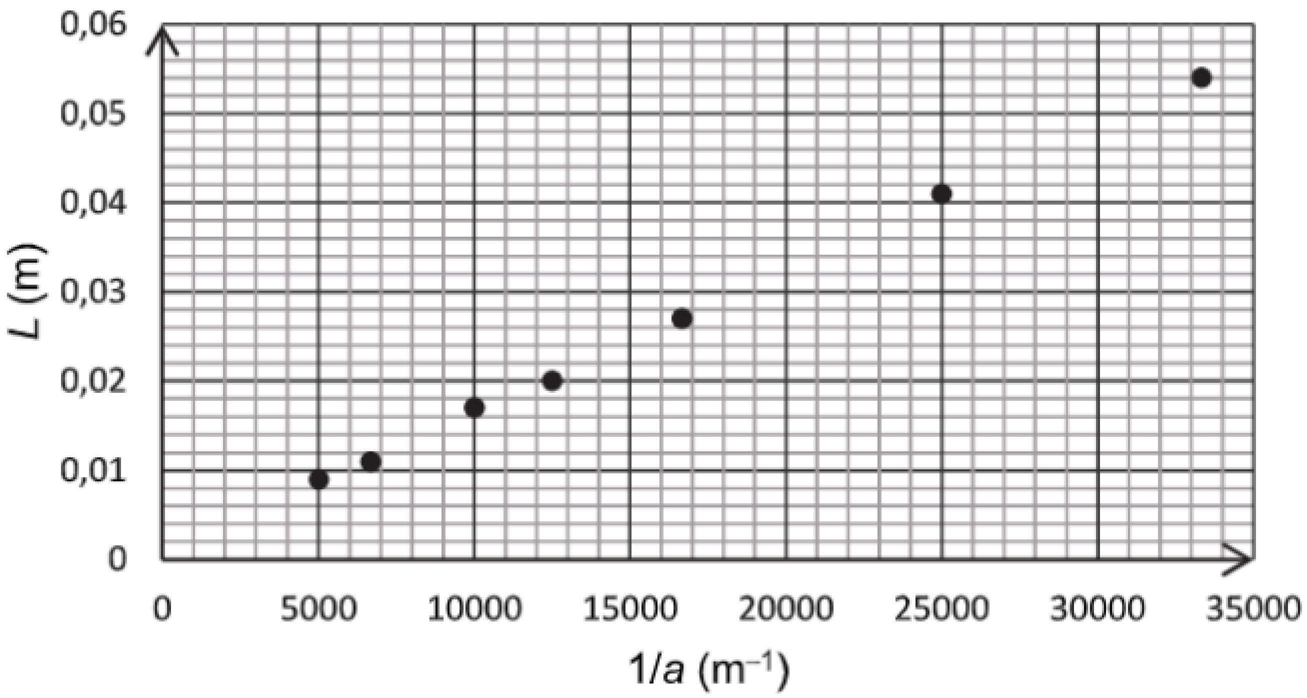
On remplace l'expression de $\theta$ obtenue à la question 13, il vient :

$$a = \frac{\lambda}{\frac{L}{2D}} = \frac{\frac{\lambda}{1}}{\frac{L}{2D}} = \frac{\lambda}{1} \times \frac{2D}{L} = \frac{2.\lambda \times D}{L}$$

De cette expression, on peut tirer l'expression de $L$ (cela fait l'objet de certaines questions au BAC) :

$$a = \frac{2.\lambda \times D}{L} \Leftrightarrow L = \frac{2.\lambda \times D}{a} = \frac{1}{a} \times 2 \times \lambda \times D$$

On peut tracer la courbe représenter la largeur de la tâche L en fonction de $\frac{1}{a}$, on obtient alors une droite de pente $2 \times \lambda \times D$ (voir la courbe ci-dessous – BAC 2022 Métropole 1 – Exercice C) :




**Q15. Exprimer le diamètre d'une tâche circulaire**

On a $\theta = 1{,}22\frac{\lambda}{a}$ d'où $a = 1{,}22 \times \frac{\lambda}{\theta}$ (cas d'une tâche circulaire)

On remplace l'expression de $\theta$ obtenue à la question 13, il vient :

$$a = 1{,}22 \times \frac{\lambda}{\frac{L}{2D}} = 1{,}22 \times \frac{\frac{\lambda}{1}}{\frac{L}{2D}} = 1{,}22 \times \frac{\lambda}{1} \times \frac{2D}{L} = 2{,}44 \times \frac{\lambda \times D}{L}$$

**Q16. Déterminer la largeur d'une tâche à partir d'une image (BAC 2022 Métropole 1 – Exercice C)**

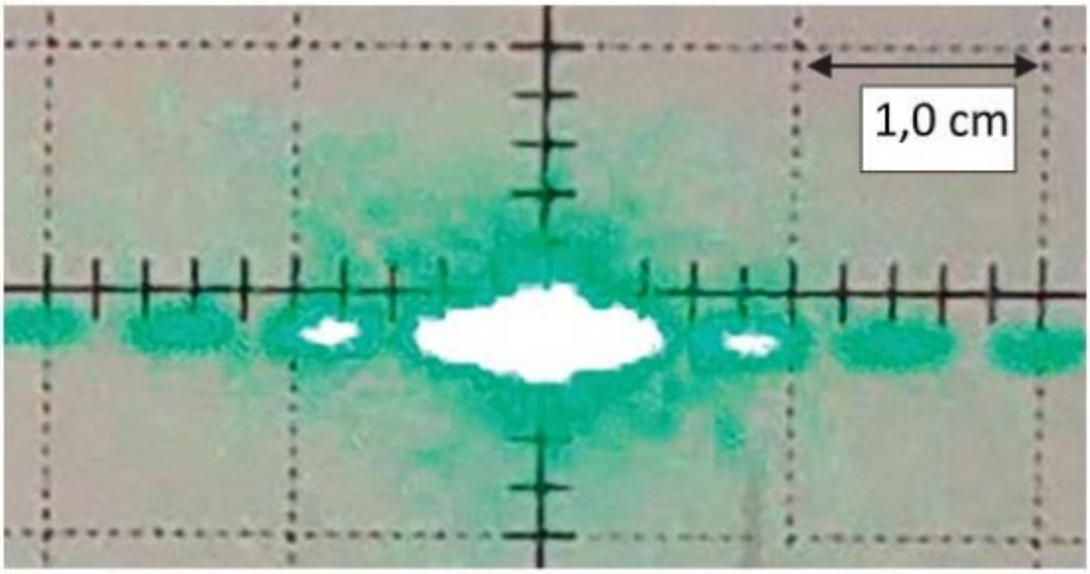



Figure 4. Photographie de l'écran de l'appareil de contrôle

On peut tout d'abord déterminer la mesure d'une graduation à partir de l'échelle (en jaune ci-dessous) puis compter le nombre de graduations de la tâche (en rouge), ce qui nous permettra de conclure :

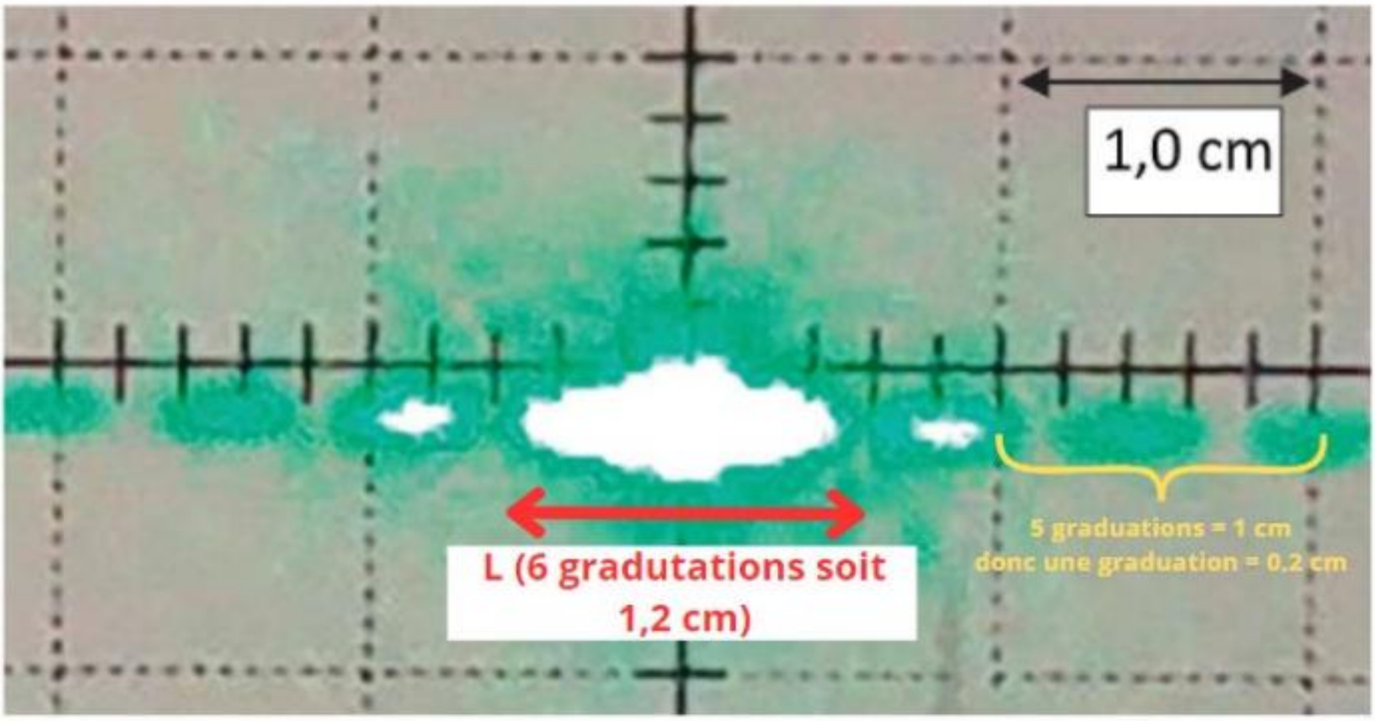
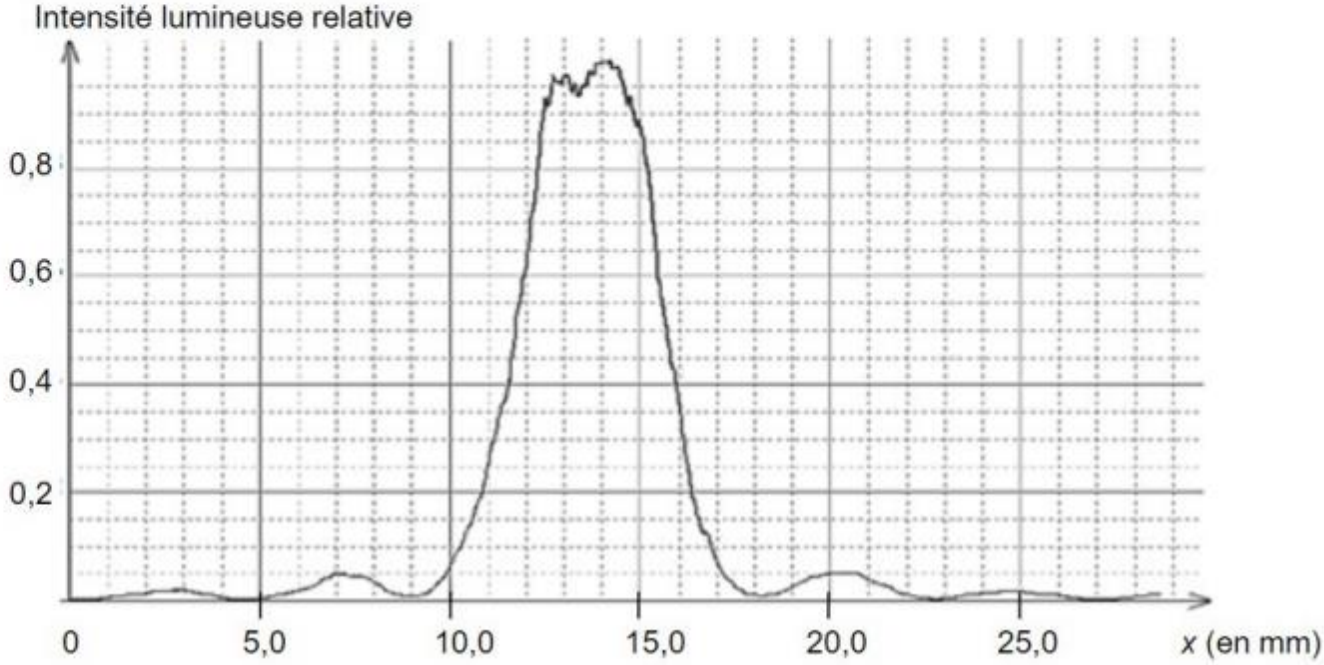
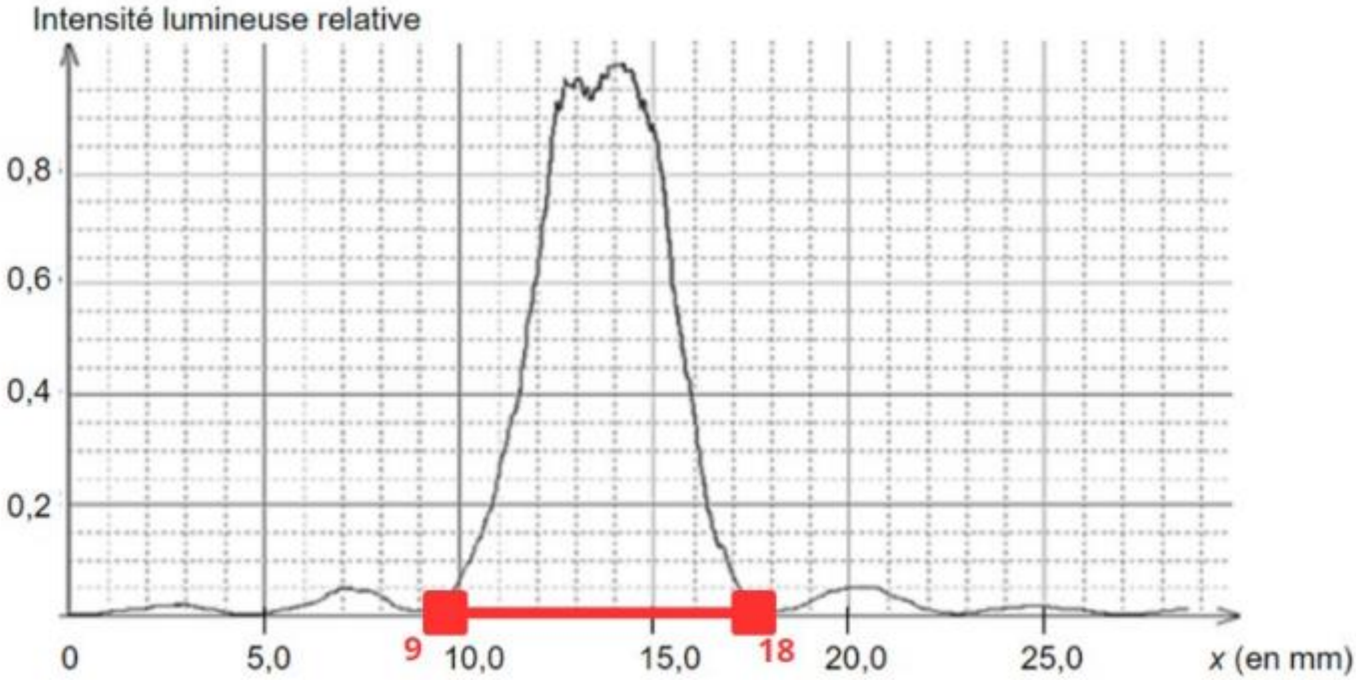



Figure 4. Photographie de l'écran de l'appareil de contrôle

La largeur de la tâche peut également être identifiée sur une courbe du même que celle-ci-dessous :




En effet, sur cette courbe, on identifier la taille du maximum d'intensité lumineuse :

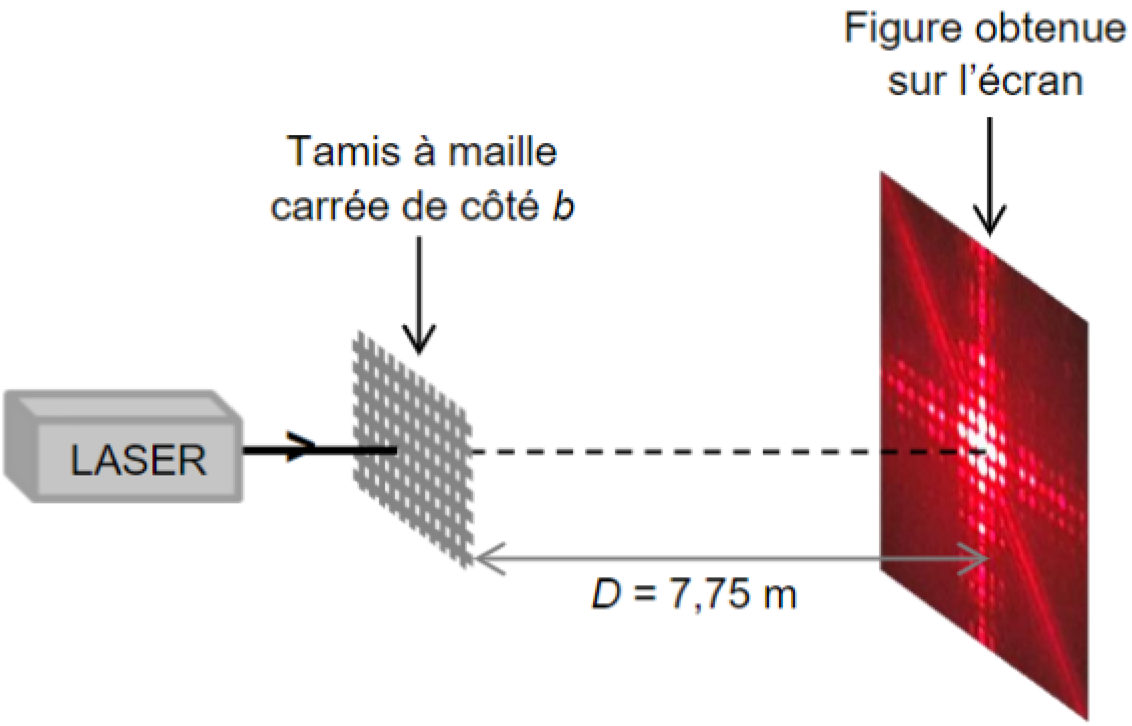



On trouve $L \approx 19 - 18 = 9\ mm.$

**Q17. Expliquer brièvement, sans calcul, l'origine de la présence de zones sombres et de zones brillantes dans une figure d'interférences lumineuses**

Pour répondre à cette question, il faut identifier les sources de lumière qui interfèrent entre elles. Les zones d'ombres sont dues à des interférences destructives et les zones brillantes sont dues à des interférences constructives.

<u>**Exemple (BAC 2021 : Exercice C)**</u>




Dans le cadre de cet exercice, chaque maille du tamis se comporte comme une source de lumière, on a donc ces différentes sources de lumière qui interfèrent. Les interférences constructives donnent lieu à des zones brillantes sur la figure d'interférence, et interférences destructives donnent lieu à des zones sombres sur la figure d'interférence.

**Q18. Rappeler l'expression de l'interfrange**

Par définition $i = \frac{\lambda \times D}{a}$ avec :

$\lambda$ : longueur d'onde du faisceau
$D$ : distance entre les fentes et l'écran
$b$ : distance entre les deux fentes

**Q19. Déterminer l'expression de la différence de marche en fonction de l'abscisse d'un point sur l'écran**

Considérons la figure suivante (expérience des fentes d'Young) :

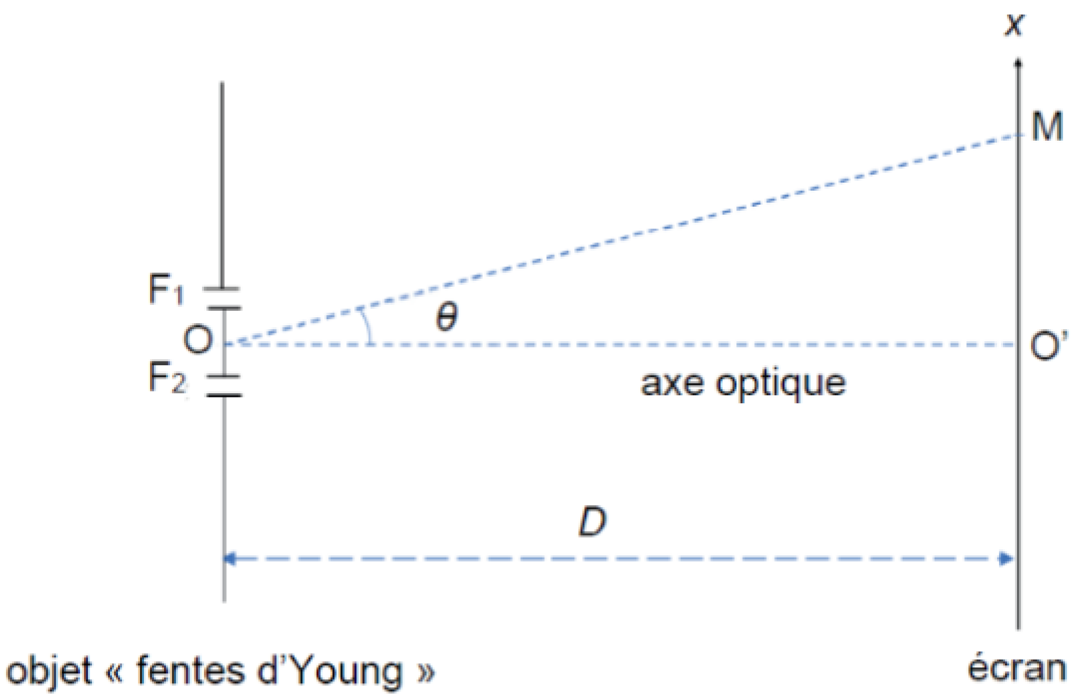



Figure 6. Mise en évidence de l'angle $\theta$ dans le triangle O'OM

**<u>Etape 1</u>** : exprimer la différence de chemin optique en fonction de l'angle $\theta$

L'exercice nous proposera en général une définition de cette différence, par exemple (voir BAC 2023 Métropole – Exercice 1 – Q9)

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

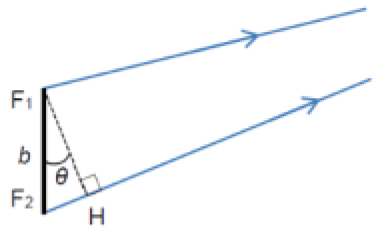



Figure 5. Agrandissement du schéma au niveau des fentes d'Young

Pour donner une première expression de la différence de chemin optique, on calcule alors le sinus de l'angle $\theta$ dans le triangle $F_1F_2H$ (triangle rectangle en H), on a :

$$\sin(\theta) = \frac{côté\ opposé}{hypothénuse} = \frac{F_2H}{F_1F_2} = \frac{\delta}{b}$$

**<u>Etape 2</u>** : exprimer l'angle $\theta$ en fonction de l'abscisse du point $M$ et de la distance séparant les fentes à l'écran.

On repart du schéma initial qu'on a annoté :

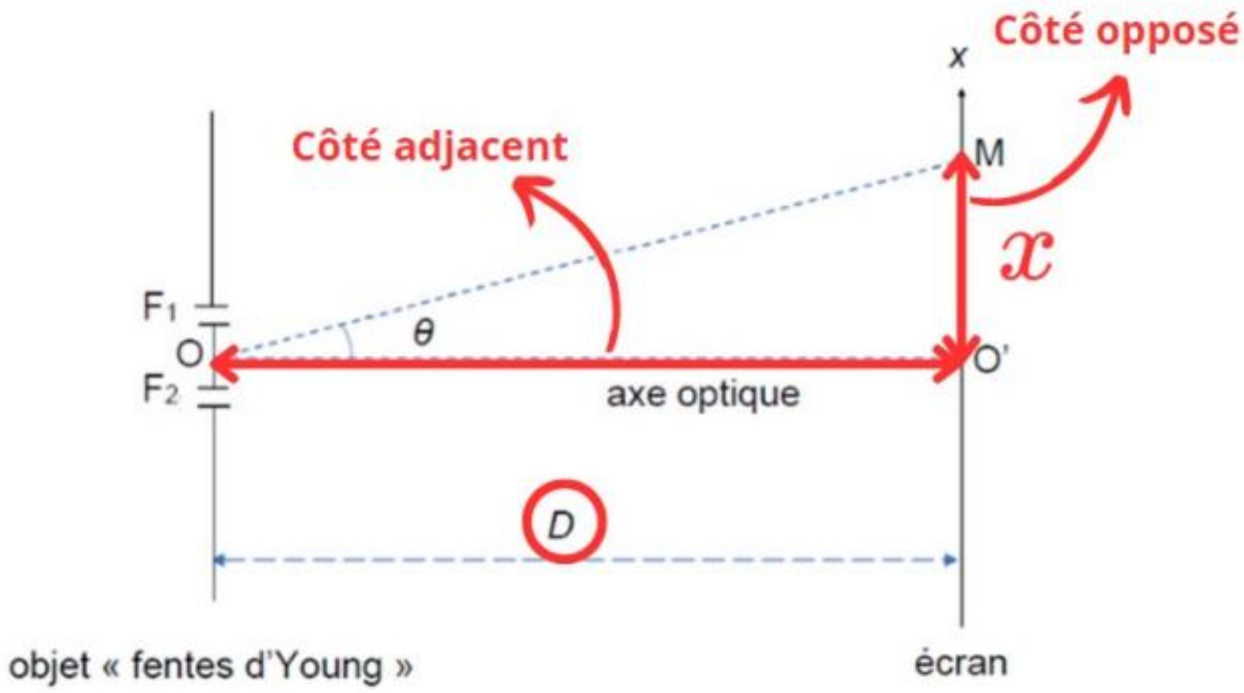



Figure 6. Mise en évidence de l'angle $\theta$ dans le triangle O'OM

Dans le triangle OO'M, on exprime la tangente de l'angle $\theta'$ dans le cadre de l'approximation des petits angles :

$tan\ \theta = \frac{\text{côté opposé}}{\text{côté adjacent}} = \frac{O'M}{D} = \frac{x}{D} \approx \theta$ *(approximation des petits angles)*

*et* $\theta = \frac{\delta}{b}$ *donc :* $\theta = \frac{\delta}{b} = \frac{x}{D}$ *on tire alors :*

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

**Q20. Donner la condition d'interférences constructives ou destructives de deux rayons lumineux**

Cette condition porte sur la différence de marche $\delta$. On a :

$\delta = k \times \lambda$ : interférences constructives
$\delta = \left(k + \frac{1}{2}\right) \times \lambda$ : interférences destructives

Avec $k$ est un entier relatif.

**Remarque** : la différence de marche peut être calculée de diverses manières. En général une formule est proposée par l'exercice pour le calcul. Par exemple (BAC Métropole 2021 – Exercice C) :

$$\delta = 2\,n \times e - \lambda/2$$

Il faut dans ces cas calculer d'abord la longueur en utilisant la formule proposée puis diviser par $\lambda$ et ensuite conclure en fonction de la valeur trouvée. En effet :

$\frac{\delta}{\lambda} = k$ pour des interférences constructives et $\frac{\delta}{\lambda} = k + \frac{1}{2}$ pour des interférences destructives. Si on ne se trouve dans aucun de ces 2 cas alors les interférences sont quelconques.

**Q21. Donner l'expression de l'abscisse d'une frange brillante**

Nous venons de voir que pour une frange brillante $\delta = \lambda \times k$,

Or nous avons vu précédemment que $\delta = \frac{b.x}{D}$. On en déduit que pour un frange brillante situé à l'abscisse $x_k$, on a :

$\frac{b.x_k}{D} = \lambda \times k$ d'où $x_k = \frac{k \times \lambda \times D}{b}$

**Q22. Retrouver alors l'expression de l'interfrange**

L'interfrange est donnée par : $i = x_{k+1} - x_k = \frac{(k+1) \times \lambda \times D}{b} - \frac{k \times \lambda \times D}{b}$

On développe :

$$i = x_{k+1} - x_k = \frac{k \times \lambda \times D + \lambda \times D}{b} - \frac{k \times \lambda \times D}{b}$$

$$i = x_{k+1} - x_k = \frac{k \times \lambda \times D + \lambda \times D - k \times \lambda \times D}{b}$$

$$i = x_{k+1} - x_k = \frac{\lambda \times D}{b}$$

Certains exercices peuvent ensuite demander de calculer différentes valeurs d'interfrange pour différentes distances de b (parfois représentées par 2 objets différents, voir BAC Métropole 1 – 2023).

**Q23. Exprimer une énergie potentielle et une énergie cinétique (+ python) (Bac 2023 Centres Étrangers 2 – Exercice 1 – Q1)**

**Par définition** $E_{\text{pp}} = m.g.h$ *où h représente la hauteur du système.*

*En Python, on gère plutôt l'ordonnée du système à travers un tableau de valeurs y où y[i] est la $i^e$ valeur de l'ordonnée (il s'agit don de l'ordonnée à l'instant $t_i$). Ainsi l'énergie potentielle s'écrira en python dans ce cas :*

*Python :* $Eppi = m*g*y[i]$ *(énergie potentielle de pesanteur à l'instant $t_i$).*

**De même pour l'énergie cinétique, on trouve :**

$$\boldsymbol{E_c = \frac{1}{2} m \times v^2}$$

***On peut tirer de cette expression la vitesse :***

$$\boldsymbol{v = \sqrt{\frac{2E_c}{m}}}$$

Python : Ce qui donne en python (pour l'énergie cinétique) : $Eci = 0.5 * m*g*v[i] ** 2$

Dans certains cas, seules les coordonnées de la vitesse sont données, on a ainsi :

$v[i] = (vx[i] ** 2 + vy[i] ** 2) ** 0.5$ (il s'agit de la racine carrée de la somme des carrés des coordonnées de la vitesse : c'est ainsi qu'on calcule la norme de la vitesse).

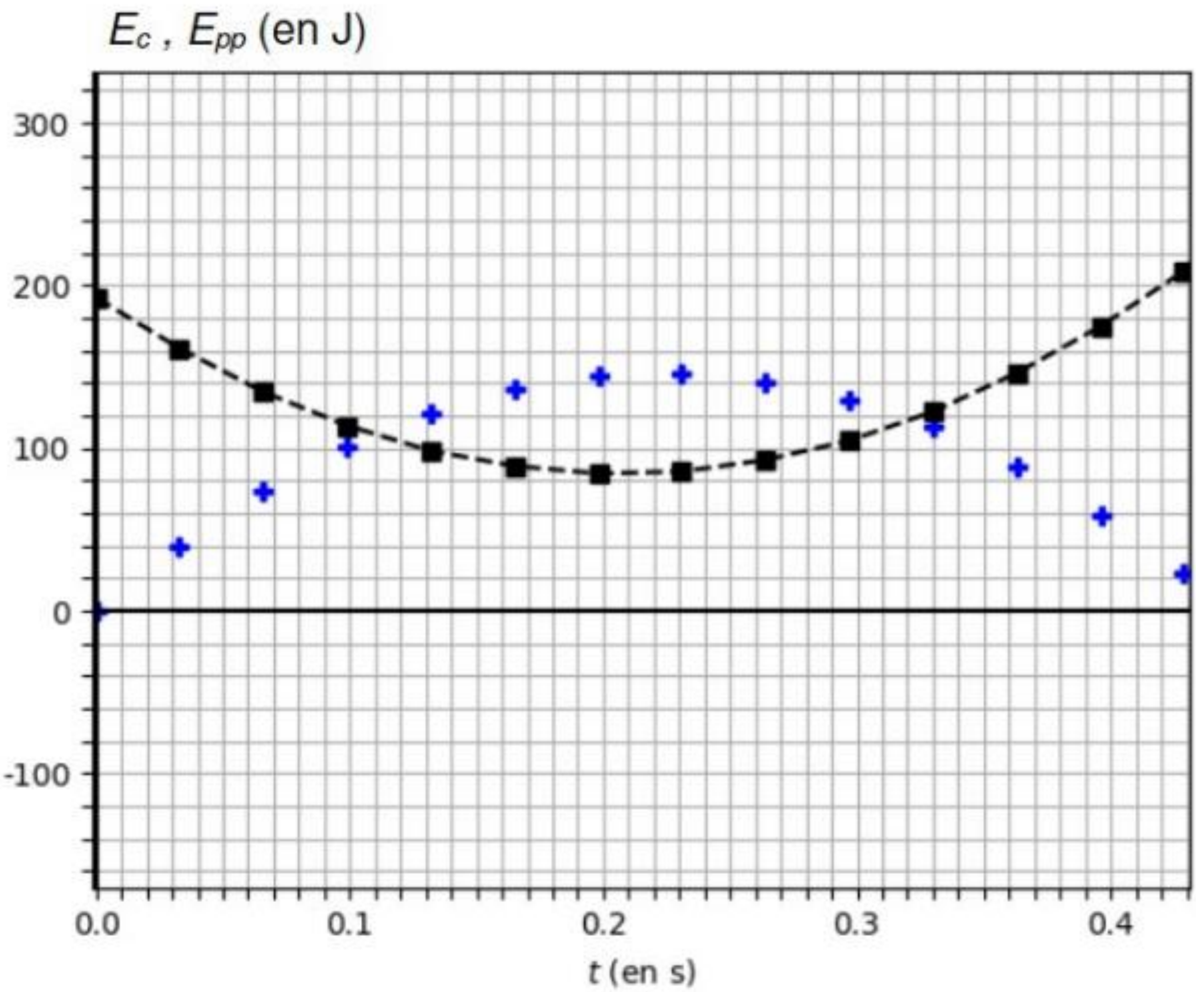
**<u>Remarque</u>** : une fois que vous avez compris le principe, vous pouvez l'appliquer sur d'autres grandeurs, accélération, calcul d'une force. Il y a en général une ou 2 questions assez simples portant sur du code python.

**Q24. Analyser qualitativement une énergie cinétique et une énergie potentielle**

Si un objet monte (son ordonnée augmente), alors son énergie potentielle augmente. Par ailleurs, si l'ordonnée est nulle alors l'énergie potentielle de pesanteur est nulle (petite précision : cela est valable uniquement lorsque l'origine des énergies potentielles est prise au niveau de l'ordonnée y = 0, ce qui est en général le cas dans les exercices).

D'autre part, lorsque la vitesse augmente, l'énergie cinétique augmente car elle est proportionnelle au carré de la vitesse. Ainsi lorsque la vitesse est nulle, l'énergie cinétique est nulle.

**Application : identifier la courbe correspondante sur la figure ci-dessous.**




**La courbe en bleu démarre à 0. Ainsi, il suffit de regarder entre l'ordonnée initiale et la vitesse initiale, laquelle des 2 grandeurs est nulle. L'énergie associée sera alors nulle. Exemple : la vitesse initiale est nulle, alors l'énergie cinétique est nulle et donc la courbe en bleu correspondrait à l'énergie cinétique. La courbe noire correspondrait donc à l'énergie potentielle, ce qui permet notamment de déduire : $E_{pp0} = mgh_O = 190\,J$, on peut ainsi déterminer la hauteur initiale (et vice versa pour la vitesse initiale dans le cas où la courbe en noire représente l'énergie cinétique initiale) [voir BAC 2023 centres étrangers 2 – Exercice 1 – Q3].**

**Q25. Exprimer l'énergie mécanique et discuter de sa conservation**

**Par définition $E_m = E_c + E_{pp}$**

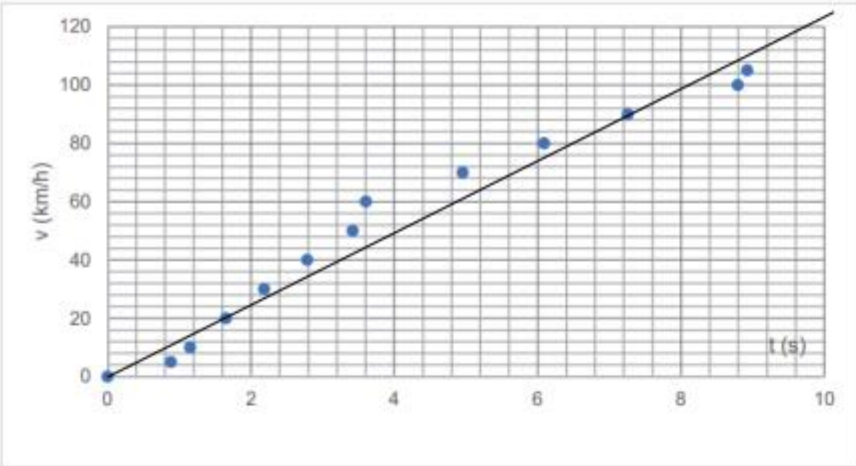
L'énergie mécanique se conserve dans le cas où il n'y pas de forces non conservatives (associées aux frottements). Sur un graphe, lorsque l'énergie mécanique varie, il faut en déduire **que les frottements ne sont pas négligeables.**

**Q26. Déterminer graphiquement la valeur de l'accélération (voir BAC 2009 Polynésie – BAC 2021 SI exercice A)**

**<u>Exemple 1</u>** : Graphe de la fonction V(t).

**Document-réponse 1 : EXERCICE A, question 3**

Évolution de la vitesse de la voiture électrique au cours du temps



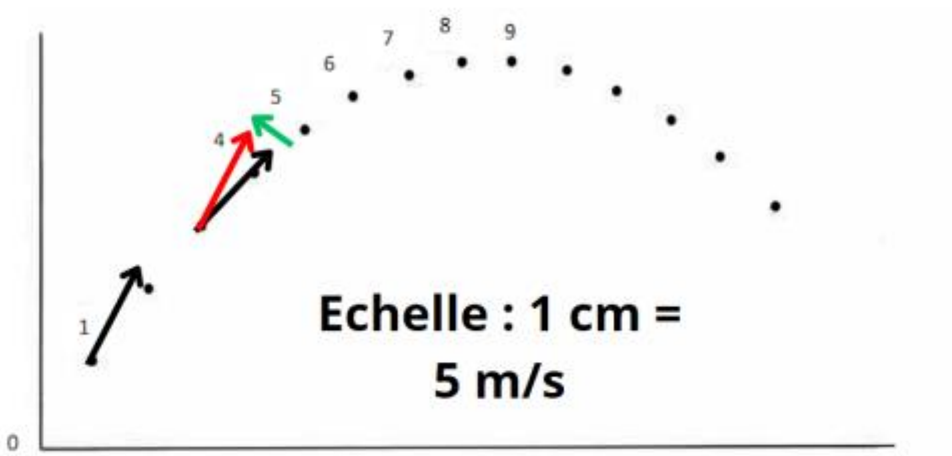

Si on nous donne le graphe de la fonction V(t) alors l'accélération en un point correspond à la pente de la tangente en ce point. Si le graphe est une droite comme sur la figure ci-dessus, alors l'accélération peut être supposée constante et égale au coefficient directeur de la droite.

**Pour déterminer le coefficient directeur de la droite ou d'une tangente il suffit de considérer 2 points de la droite ou de la tangente par exemple $A(x_A; y_A)$ et $x_B; y_B)$ et d'appliquer la formule :**

$$\boldsymbol{pente = accélération = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}}$$

**<u>Exemple 2</u> : sur une chronophotographie (voir BAC 2011 Réunion exo 2 – Partie 1)**

**Document : positions du dauphin**




Ici, on a représenté en noirs 2 vecteurs vitesse (toujours tangents à la trajectoire). En rouge et en vert, la construction du vecteur variation de vitesse.

Pour déterminer l'accélération dans ce cas, il nous faut mesurer la longueur du vecteur variation de vitesse (en vert) et appliquer la formule qui permet ensuite de calculer l'accélération selon :

$$a = \frac{\Delta V}{\Delta T}$$

$\Delta T$ correspond à la durée de la chronophotographie.

**Remarque** : le vecteur variation vitesse est homogène à une vitesse. Pour déterminer sa norme, il suffit d'utiliser l'échelle présentée dans l'exercice.

**Pour la suite de la fiche, je propose un cas pratique sur la mécanique permettant de traiter de façon approfondie le lancer de projectile. Le cas pratique correspond au document « Cas pratique lancer de projectile 2024 ».**