

XXVIII^{ème} Olympiades de Physique France
« 1668, voir ce que personne n'a jamais vu ! »



ANZOLIN Marie, De BASQUIAT Guilhem, DOS SANTOS COPPOLANI Francesca,
PETITJEAN Lucie

EL MAAFI Ahmed, PIACENTINI Joseph (professeurs référents)

Lycée Jeanne d'Arc Bastia

Académie de Corse

Aspect historique, notre défi

A. Le pouvoir séparateur de l'œil humain

B. Nos différentes approches expérimentales

B.1. Evaluer le grossissement de notre lentille par « comparaison »

B.2. Une autre démarche avec un smartphone

B.3. De la loupe à notre lentille boule, jeu de récipients

B.4. Notre lentille en mode projection

C. En conclusion

D. Les pistes que nous pourrions encore envisager

Aspect historique, notre défi

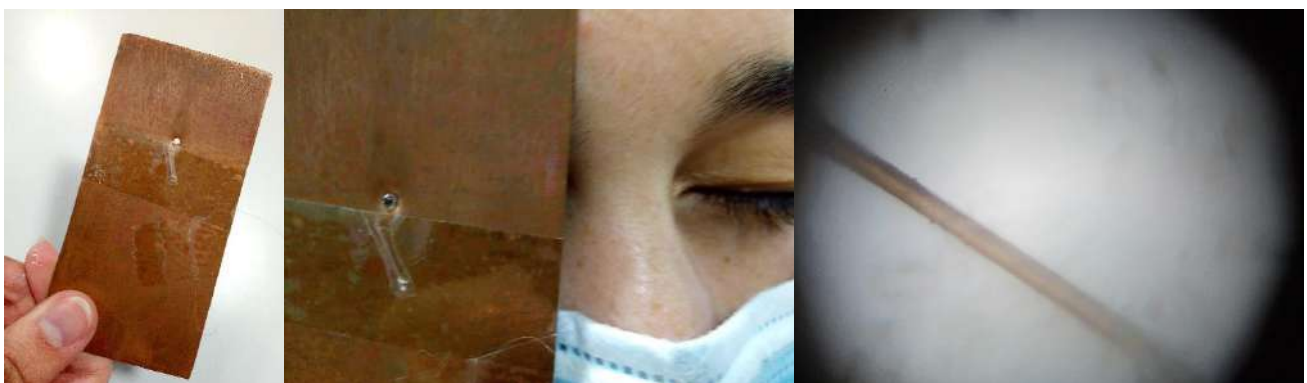
Dans les manuels du lycée, le microscope de Leeuwenhoek est présenté comme l'ancêtre du microscope optique. Notre professeur nous a montré qu'il était possible et amusant d'en fabriquer un à partir d'une baguette de verre... Chauffer une baguette dans la flamme d'un chalumeau, l'observer rougir, se ramollir à quelques centimètres de ses doigts sans ressentir la chaleur, il est vraiment surprenant de constater que le verre est un mauvais conducteur de chaleur ! La baguette ramollie à l'état de chewing-gum est étirée pour former un fil fin qui ne tarde pas à casser. Replacé dans la flamme, une goutte de verre en fusion se forme à son extrémité, il faut qu'elle soit la plus sphérique possible. Plus elle est petite plus notre microscope sera performant ! Placée sur une plaque de cuivre percée nous sommes bien curieux de découvrir l'infiniment petit, comme l'a fait Leeuwenhoek vers 1668 ! Un cheveu, une lamelle de microscope empruntée au prof de SVT... L'objet minuscule est placé contre notre petite perle de verre, il faut regarder à travers la plaque percée et la lentille, comme par un trou de serrure en profitant de la lumière d'une fenêtre. Le grossissement est spectaculaire pour un dispositif aussi rudimentaire !

Une ancienne élève de notre club sciences a eu une pensée pour nous... son sujet de concours était en lien avec le projet que nous avons choisi pour les Olympiades de Physique France... Le microscope de Leeuwenhoek !

*« Afin de contrôler la qualité des tissages, Antoni Van Leeuwenhoek (1632-1723), apprenti drapier aux Pays Bas, inventa le premier microscope à fort grandissement vers 1668. Cet instrument permit, grâce à la curiosité de son inventeur, de découvrir l'existence d'un monde vivant à une échelle invisible à l'œil nu. Ces découvertes marquèrent la naissance de la microbiologie. »
(Extrait du concours commun mines et ponts 2020)*

Au XVII^{ème} siècle les découvertes de Leeuwenhoek ont parfois fait scandale ! Il avait observé des spermatozoïdes et avait décrit la semence humaine comme constituée de petits serpents... Le symbole du mal pour l'Eglise !

Après une expérience pour caractériser le pouvoir séparateur de l'œil humain, nous décrivons différentes approches afin de caractériser la performance de notre lentille, notre défi, évaluer son grossissement.

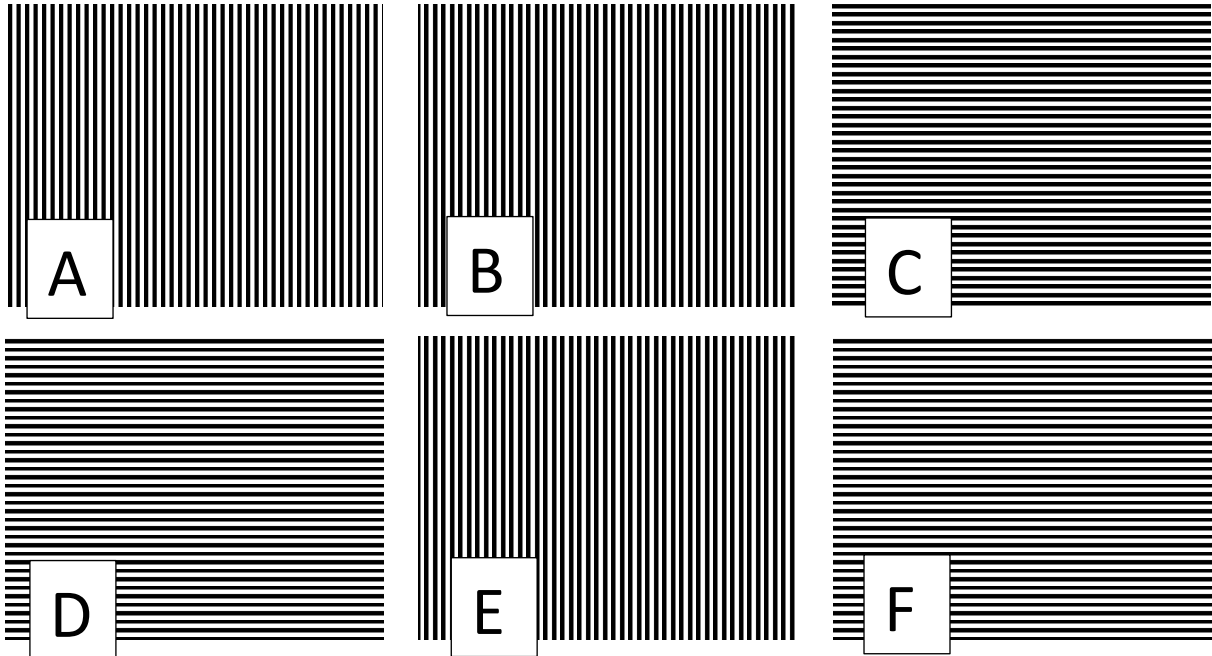


Notre petite lentille à l'extrémité du fil de verre fixée par un ruban adhésif à une plaque de cuivre percée. Une visée... Regarder comme à travers le trou d'une serrure. Un cheveu d'environ 80µm photographié à travers notre lentille.

A. Le pouvoir séparateur de l'œil humain

L'utilisation d'une loupe, d'un microscope permet de distinguer des détails impossibles à observer à l'œil nu... Mais quel est le plus petit détail observable par un œil humain... C'est l'objet de notre première expérience : Evaluer le pouvoir séparateur de l'œil directeur d'une personne !

Une série de mires, ci-dessous, est affichée au mur. Afin d'assurer une certaine objectivité à cette expérience, les mires ne sont pas toutes orientées dans la même direction, à l'insu des personnes testées, qui devront en se rapprochant, indiquer leur orientation !



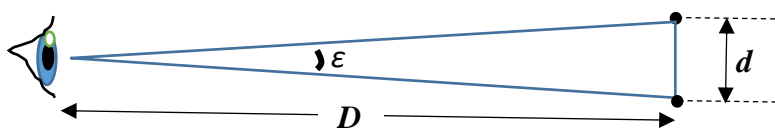
Les mires sont affichées au mur, l'observateur les découvre en se rapprochant, et détermine à quelle distance du mur, il peut distinguer celles qui présentent des lignes horizontales et celles qui présentent des lignes verticales...

Les résultats sont affichés dans le tableau suivant...

Prénom de l'observateur, (œil directeur)	Œil corrigé	Œil non corrigé mais défaut éventuel non diagnostiqué	Plus grande distance à partir de laquelle il est possible de distinguer les lignes de la mire (m)	Pouvoir séparateur de l'œil directeur Exprimé en radian
Guilhem	non	Oui	3,30	$3,0 \cdot 10^{-4}$
Lucie	non	Oui	1,80	$5,6 \cdot 10^{-4}$
Francesca	non	Oui	1,70	$5,9 \cdot 10^{-4}$
Joseph	oui	Non	2,20	$4,5 \cdot 10^{-4}$

Calcule l'angle limite à partir duquel tu ne peux plus séparer deux lignes consécutives, exprime cet angle en radian... On le désigne sous le terme de pouvoir séparateur de ton œil, souvent noté ϵ (Epsilon)

Sur la feuille imprimée, la distance séparant deux lignes consécutives est $d = 1,0 \cdot 10^{-3}$ m



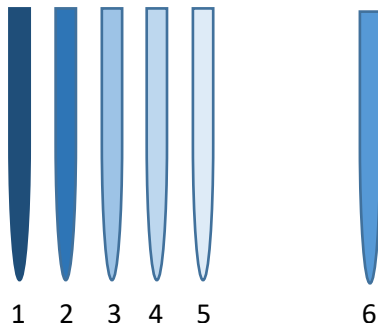
$$\tan\left(\frac{\epsilon}{2}\right) \approx \left(\frac{\epsilon}{2}\right) \approx \frac{d}{D} \text{ et } \epsilon \approx \frac{d}{D}$$

Seul Guilhem présente un œil directeur dont le pouvoir séparateur correspond à la valeur théorique couramment admise !

B. Nos différentes démarches afin de calculer le grossissement de notre plus petite lentille

B.1. Evaluer le grossissement de notre lentille par « comparaison »

Observer à travers la lentille boule une lame de microscope et comparer aux observations réalisées avec des dispositifs dont on connaît le grossissement... Un peu comme une échelle de teinte, en chimie, nous permet d'évaluer la concentration d'une solution colorée, comparer les images d'un même objet prises avec notre minuscule lentille boule avec les images réalisées avec un microscope et différents grossissements connus.



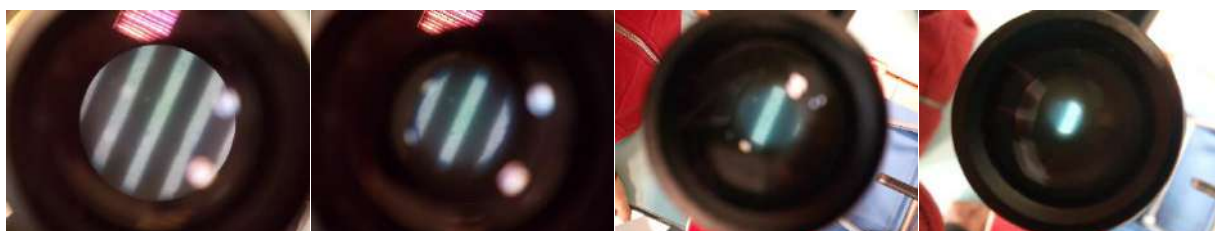
La couleur de la solution du tube 6 nous indique que la concentration de la solution qu'il contient est comprise entre celles des tubes 2 et 3...

Observons une trame constituée de fines bandes noires et « blanches » (transparentes) montée sur un cadre de diapo, à travers un microscope et à travers la plus petite des lentilles que nous avons confectionnée.

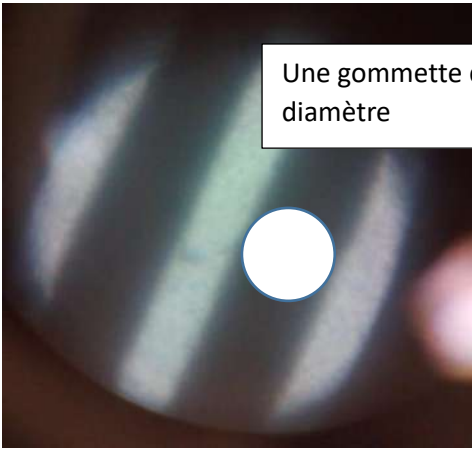
L'observation « directe », à l'œil nu ne nous permet de réaliser que des observations qualitatives... oui notre lentille semble caractérisée par un grossissement supérieur au grossissement $\times 100$ du microscope. L'objet est moins grossi que s'il est observé avec le microscope au grossissement $\times 400$.

Afin de réaliser des comparaisons plus précises, nous avons réalisé des prises de vue à travers nos lentilles et le microscope, à l'aide d'un smartphone. Les prises de vue réalisées, les images sont copiées sur l'ordinateur, copiées sur un même fichier « traitement de texte », elles peuvent être « rognées » afin de ne conserver que la zone intéressante, sans que les images ne soient déformées, que leurs proportions soient conservées afin de rendre possible des comparaisons. Le même smartphone est utilisé pour les différentes prises de vue.

La distance entre l'objectif du smartphone et l'oculaire du microscope a-t-elle un impact sur les mesures ?



Ci-dessus, ces photos illustrent l'évolution de l'image de la trame rayée photographiée à travers le microscope ($\times 400$) lorsque le smartphone est éloigné de l'oculaire. Il est évident que le champ d'observation est bien affecté au fur et à mesure de l'éloignement. La largeur des bandes noires est-elle changée d'une image à l'autre ?

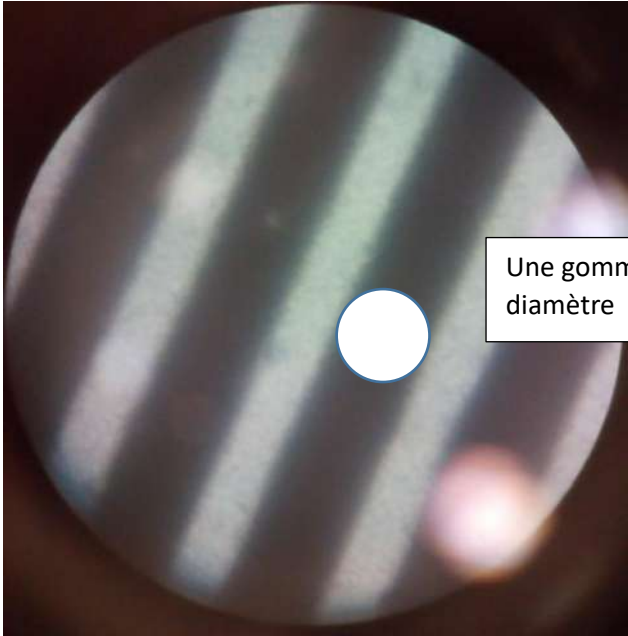


Une gomme de 1,23 cm de diamètre

Lorsqu'on éloigne le smartphone de l'objectif le champ d'observation se réduit.

Les photos ci-contre ont été collées sur cette page Word puis rognées, leurs tailles sont différentes mais leurs proportions sont conservées, il est donc possible de les comparer.

La largeur des rayures noires ne semble pas avoir changé.



Une gomme de 1,23 cm de diamètre

En conclusion, la distance entre l'objectif du smartphone et l'oculaire du microscope ne semble pas être un problème pour mesurer la largeur d'une de ces bandes sur ces images.

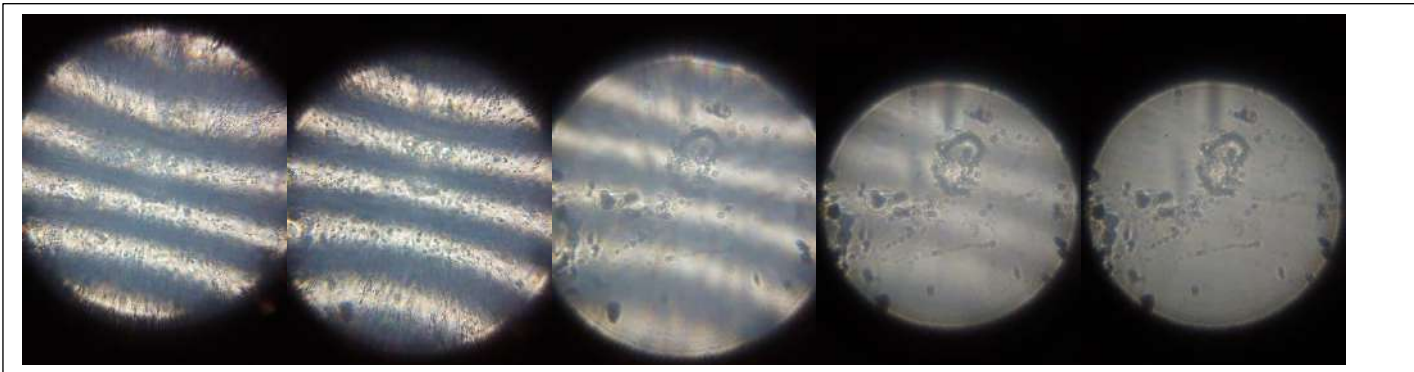
- La distance entre l'objectif du smartphone et notre lentille a-t-elle un impact sur les mesures ?



Dans ces situations le champ d'observation se réduit au fur et à mesure que l'on éloigne l'objectif du smartphone de la lentille.

La taille des bandes sur l'image ne semble pas affectée par la distance entre le smartphone et la lentille.

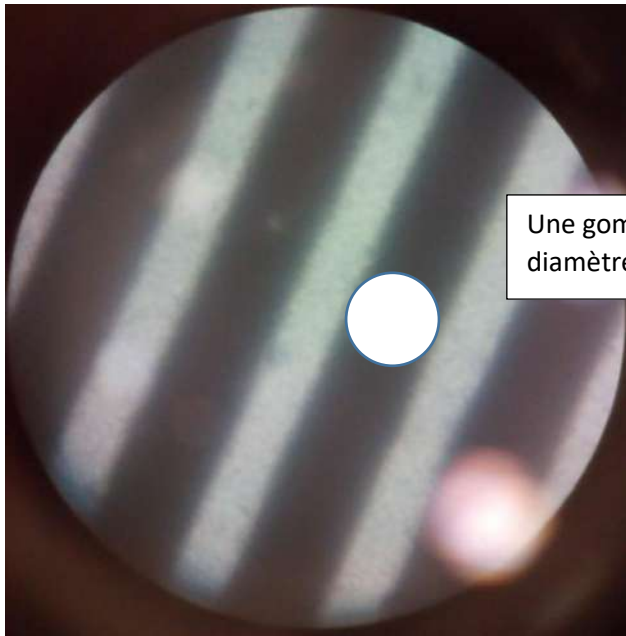
- La distance entre notre petite lentille et le petit objet que l'on observe a-t-elle un impact sur les mesures ?



Le smartphone, la plaque sur laquelle la lentille est fixée, la diapo « trame » sont fixés sur trois plateaux mobiles différents. Le smartphone sur un plateau à crémaillère, la plaque de la lentille et la diapo objet sur les platines de deux microscopes placés côte à côte. Les réglages fins des positions des deux platines nous permettent de travailler sur de petites distances, mais l'expérience reste qualitative car nous n'avons pas trouvé le moyen de les mesurer. Il est difficile d'évaluer la distance lentille-objet lorsqu'ils sont très proches.

Dans cette dernière série de photos, le smartphone est fixe, le champ semble pourtant se réduire... une adaptation du smartphone à une variation de luminosité ?

En conclusion, il semble possible de comparer une prise de vue réalisée à travers notre lentille et une réalisée à travers le microscope ... comparons les plus belles images.

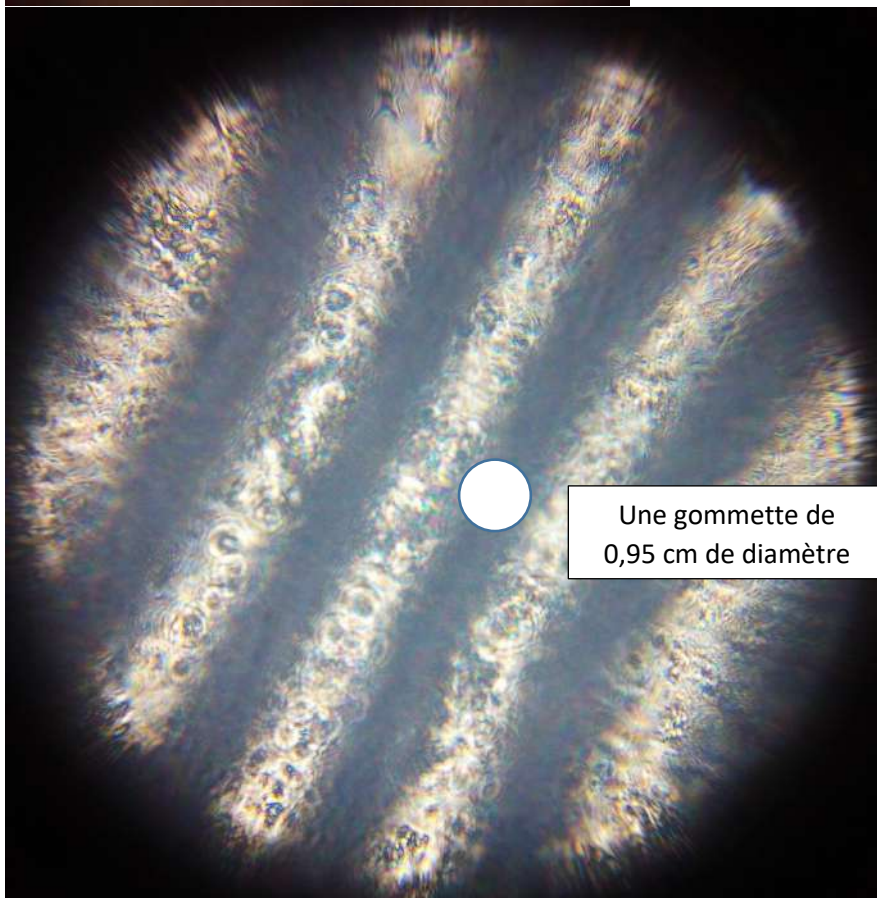


Une gomme de 1,23 cm de diamètre

Un grossissement $\times 400$ pour 1,23 cm

Pour notre plus petite lentille G correspond à 0,95 cm

soit $G = 309$, environ $\times 310$



Une gomme de 0,95 cm de diamètre

Ci-dessous notre dispositif à trois plateaux mobiles



B.2. Une autre démarche avec un smartphone...

Observer La trame à travers la petite lentille boule... $G = \alpha'/\alpha$

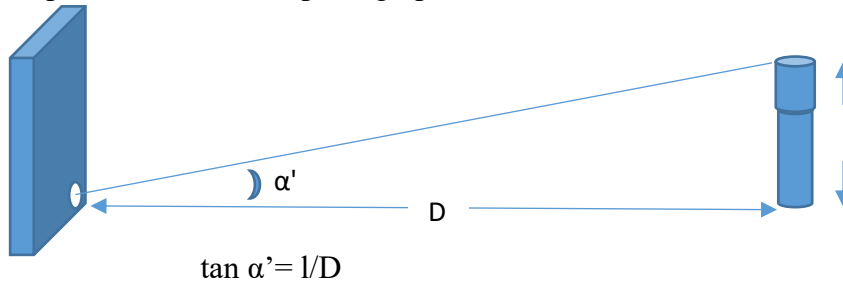
α est l'angle sous lequel on observe le pas de la trame à l'œil nu lorsqu'elle est placée au punctum proximum soit à 25cm de l'œil.

α' est l'angle sous lequel on observe le pas de la trame à travers la lentille.

Notre idée est de remplacer notre œil par l'objectif de notre smartphone, de relier l'angle sous lequel l'objectif observe l'image du pas de la trame à travers la lentille, à la taille de son image sur la photo.

Première étape : trouver la relation angle d'observation en fonction de la taille sur l'image...

Un stylo feutre est placé sur la table et photographié à différentes distances du smartphone...

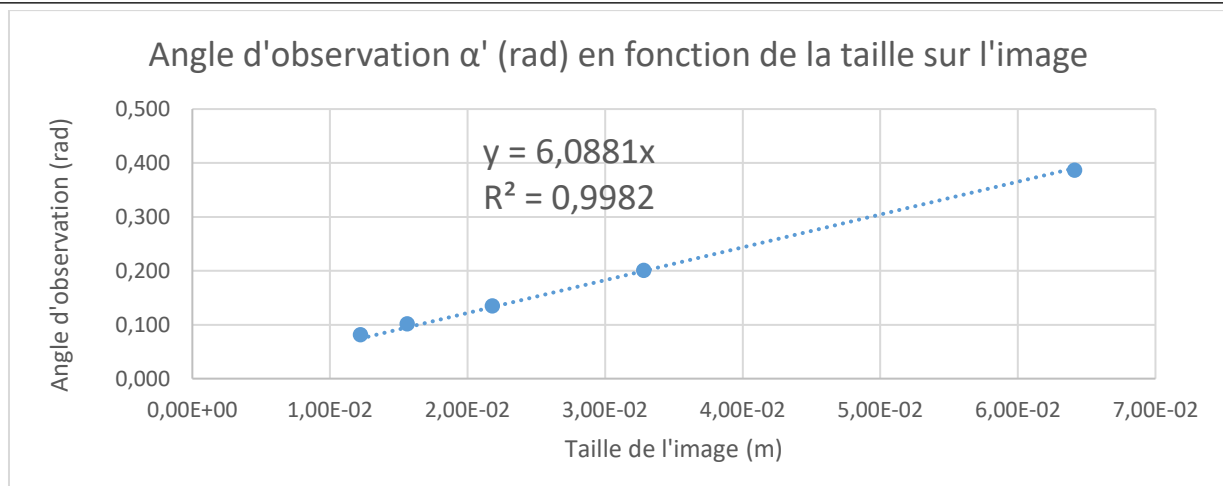


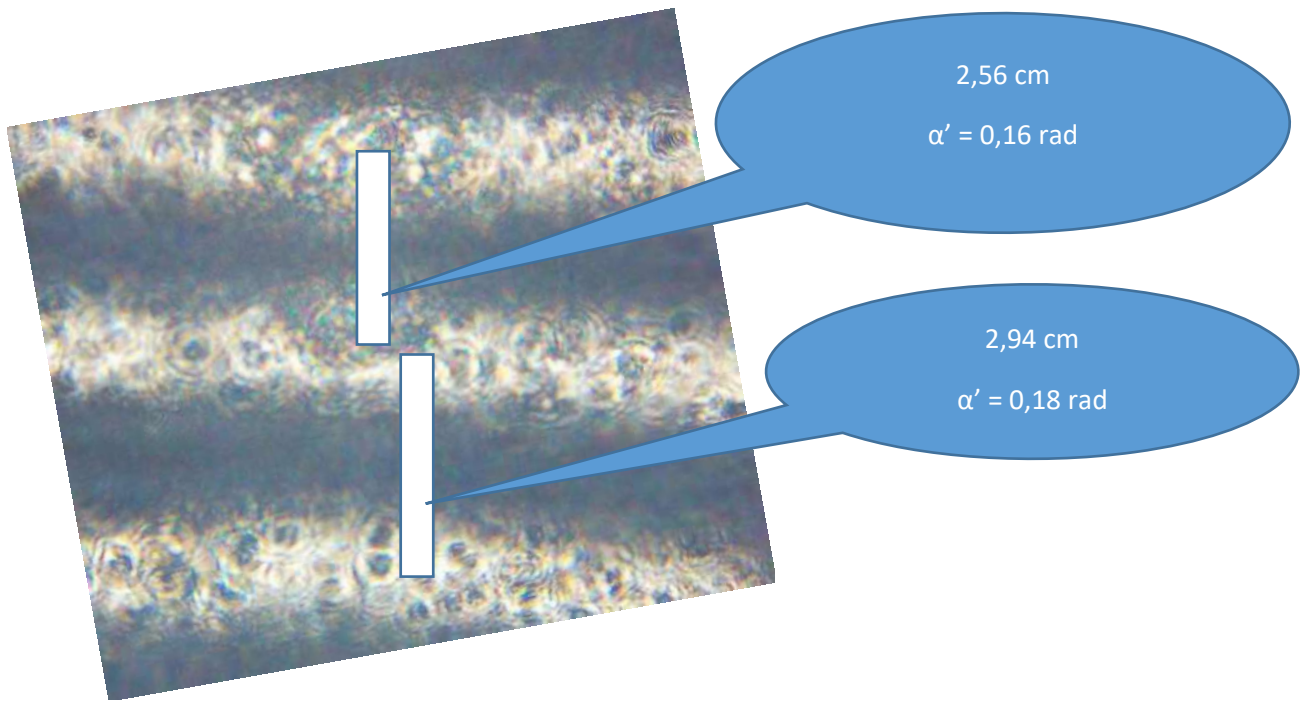
Le stylo feutre de 12,2cm a été photographié à des distances de 30 cm, 60cm, 90cm, 1,0m et 1,5m de l'objectif du smartphone

Le « rognage » des images de plus en plus important n'a pas modifié les proportions !

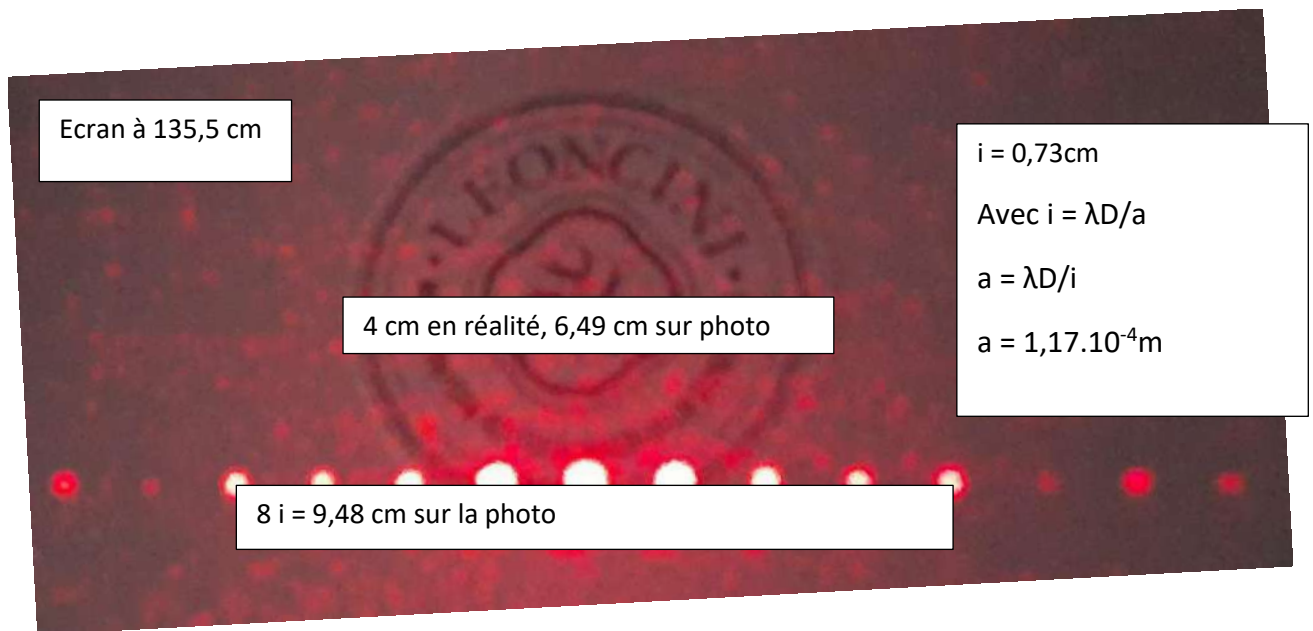


Les photos sont transférées sur l'ordinateur, copiées sur le même document Word... Une forme est insérée, un rectangle d'une longueur identique à celle du stylo ou du pas de la trame sur l'image... 2,56 cm pour le pas de la trame, distance séparant deux bandes blanches au centre de la lentille, soit un angle $\alpha' = 0,16$ rad, valeur déterminée à l'aide du graphique suivant.





Seconde étape : déterminer α ... il faut donc déterminer le pas de la trame, la distance entre deux bandes transparentes de la diapo... En réalisant une mesure sur une figure d'interférence !
 L'étiquette du pâtissier sur la boîte de gâteau qui nous sert d'écran est notre toise de diamètre 40mm...



$$\alpha = 1,17 \cdot 10^{-4} / 25 \cdot 10^{-2}$$

Observée au punctum proximum, la distance entre deux bandes transparentes consécutives est observée sous l'angle $\alpha = 4,7 \cdot 10^{-4}$ rad

Troisième étape : calculer le grossissement...

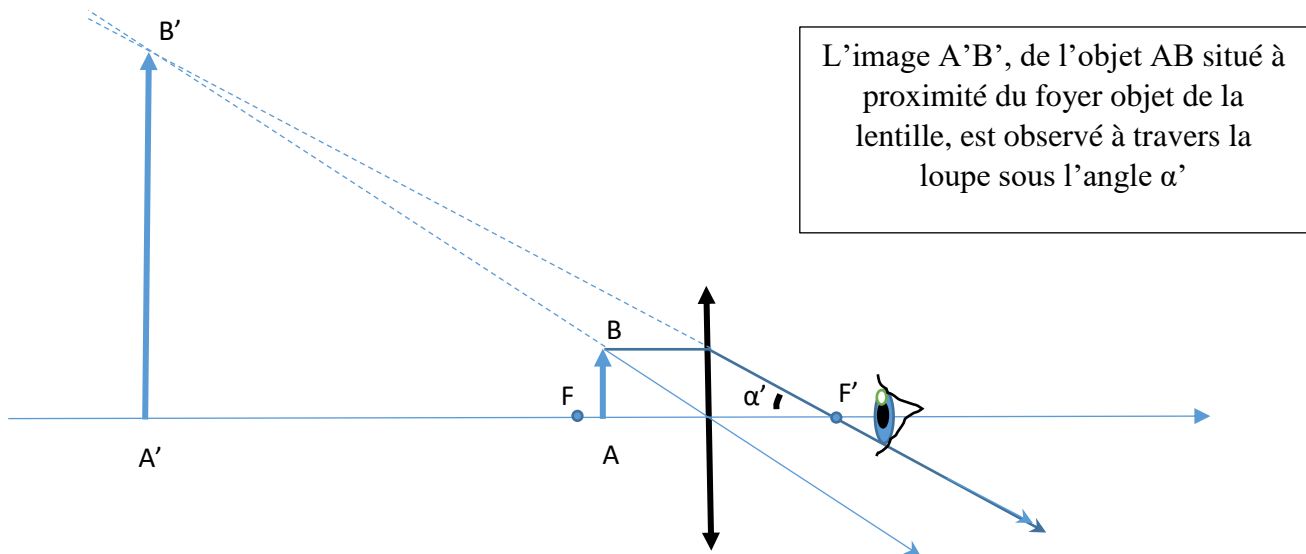
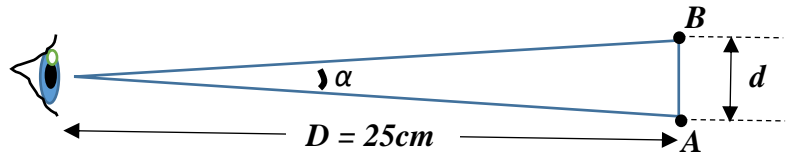
$$G = \alpha' / \alpha \quad \mathbf{G = 340}$$
 pour la plus petite des billes.

B.3. De la loupe à notre lentille boule

Quel est le grossissement d'une loupe ?

Lorsqu'un objet est proche de la loupe il est observé sous un angle α' bien plus grand que l'angle α sous lequel il est observé lorsqu'il est placé à une distance de l'œil correspondant à son punctum proximum...

Observation de l'objet AB à l'œil nu, l'objet étant placé au punctum proximum, à une distance moyenne $D = 25\text{cm}$



Le grossissement de la loupe s'exprime comme le quotient $G = \alpha'/\alpha$

Ainsi à partir des schémas précédents nous pouvons écrire $\alpha' = AB/f$ et $\tan\alpha \approx \alpha \approx AB/D$

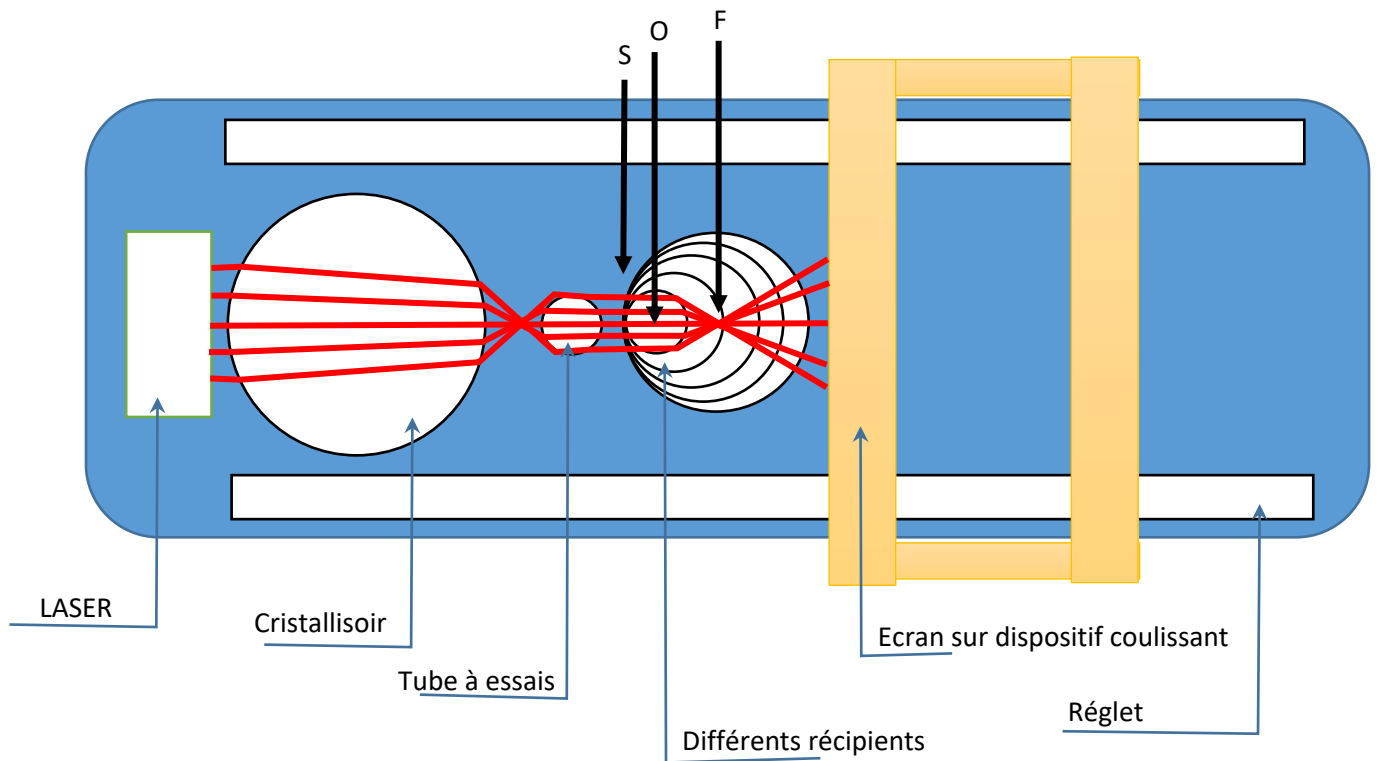
$$G = D/f \quad \text{avec } D = 0,25\text{m} \quad G = 1/4f$$

Le grossissement de la loupe dépend de la valeur de sa distance focale, plus elle est petite plus le grossissement est important.

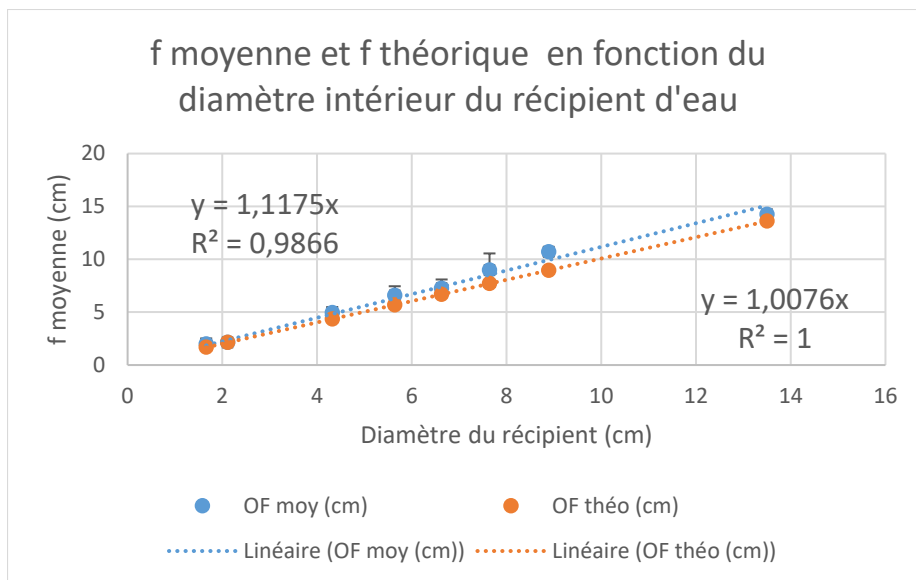
La connaissance de la valeur de la distance focale de la loupe nous permet de remonter à la valeur de son grossissement... Si il est relativement facile de mesurer la valeur de la distance focale d'une loupe en orientant son axe optique vers, par exemple le soleil, et observer son foyer brulant, comment le faire avec une bille minuscule ?

Notre objectif : trouver une relation entre le diamètre d'une lentille boule, ou son rayon et sa distance focale devrait nous permettre de calculer un grossissement. Extrapoler à une lentille minuscule...

Il n'est pas facile de trouver des sphères de verre de différent diamètre pour réaliser des mesures. Nous avons opté pour des récipients cylindriques de différents diamètres beaucoup plus faciles à trouver... Ils seront remplis d'eau ! La forme cylindrique nous permet d'observer la réfraction des différents faisceaux parallèles dans un plan, comme pour la lentille boule. Nos différents récipients seront éclairés par un dispositif multifaisceaux LASER.



Après avoir mesuré la distance focale du cristallisoir, nous l'utilisons en association avec un tube à essais pour obtenir un ensemble de faisceaux laser parallèles, plus resserrés, pour travailler avec des récipients de plus en plus étroits... L'écran sur le chevalet coulissant nous permet de repérer à quelle distance du centre du récipient étudié les faisceaux convergent. Nous réalisons plusieurs mesures afin d'augmenter la précision.

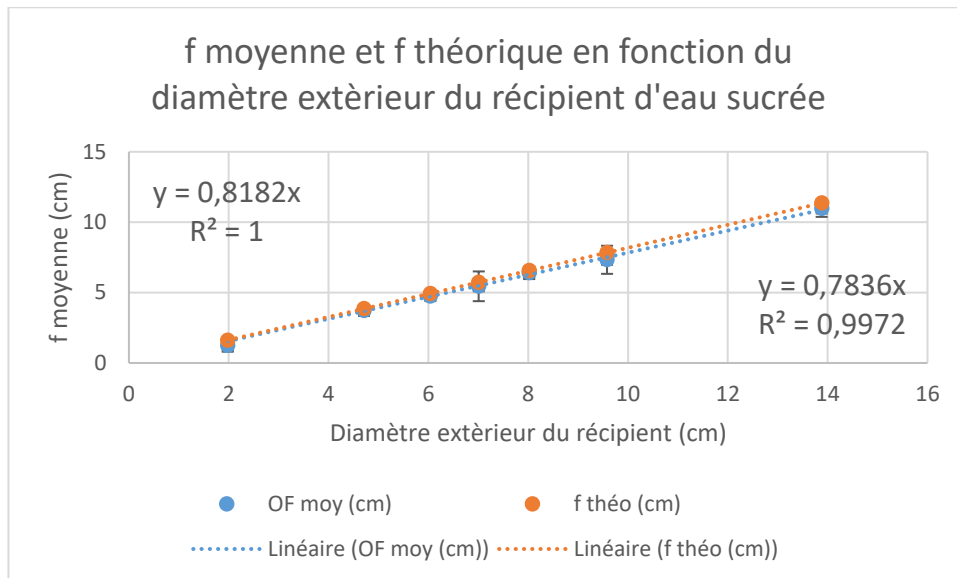


R^2 égale à 0,98 valide le modèle mathématique.

Nos récipients contiennent de l'eau d'indice $n=1,33$

La relation théorique $f = (n \cdot D / 2) / (2(n-1))$ nous permet de calculer des valeurs de distances focales relativement proches de celles mesurées... Il semble donc possible d'extrapoler ici à une goutte d'eau. Théoriquement $f = 1,0075 \cdot D$

Il n'est pas si facile de mesurer la distance focale des différents récipients contenant de l'eau. Les différences entre les mesures des différents opérateurs et les valeurs théoriques varient entre 2 et 23%. A la difficulté de repérer le foyer se rajoute le problème de la paroi de verre... Lors de la finale régionale des Olympiades de Physique nos interlocuteurs nous ont donné l'idée de l'eau sucrée afin d'obtenir un liquide dont l'indice de réfraction se rapproche de celui du verre... nous pouvons donc tenir compte du diamètre extérieur des récipients dans nos mesures...

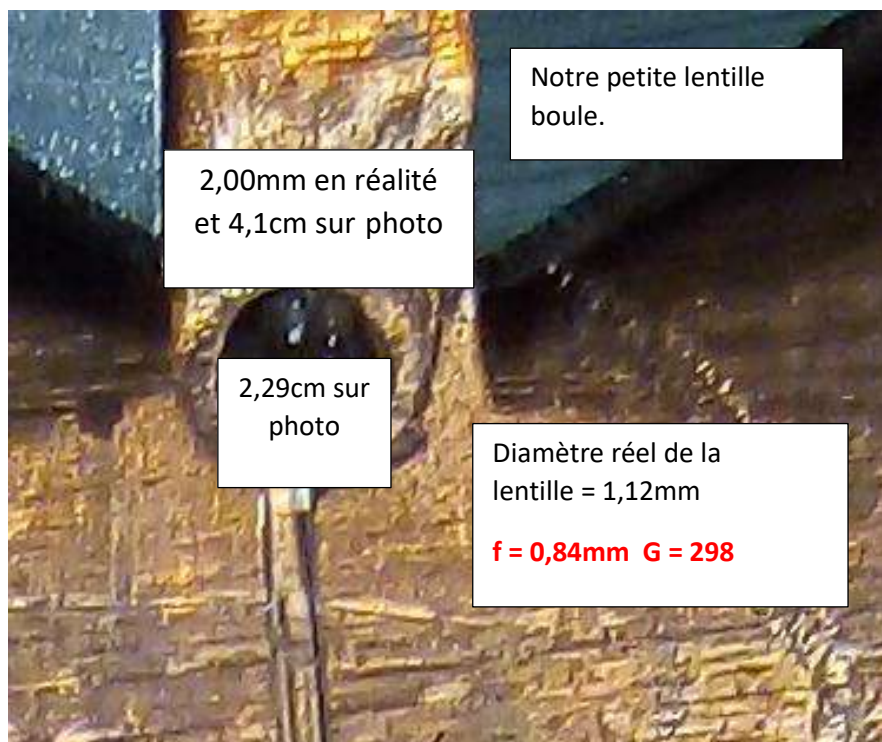


L'écart entre les deux pentes de la droite expérimentale et de la droite théorique est passé de 0,11 avec l'eau à 0,03 avec l'eau sucrée que nous avons préparée! Nous avons mesuré son indice de réfraction :
 $n = 1,44$

Il ne reste plus qu'à mesurer le diamètre de la lentille...

La relation théorique qui lie le diamètre de la lentille à sa distance focale nous permet de calculer la distance focale et d'en déduire le grossissement avec la relation $G = 1/4f$

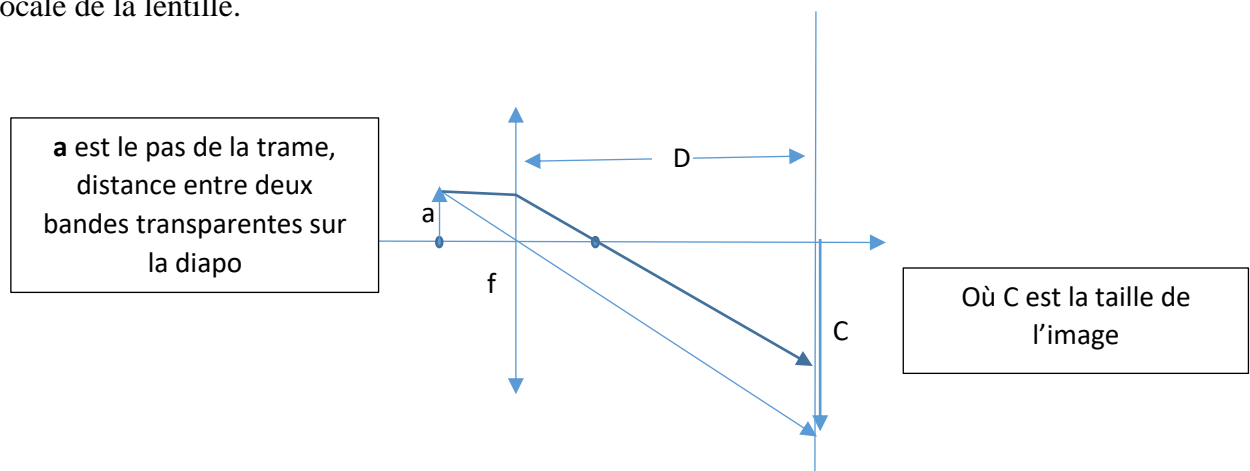
Lors de sa fabrication la lentille est formée par une goutte de verre qui se forme à l'extrémité d'un fil très fin, très fragile et très utile pour la manipuler, fixer la lentille sur son support. Nous avons donc renoncé à mesurer son diamètre à l'aide d'un pied à coulisse. Nous avons opté pour prendre une photo de la lentille sur son support et de nous servir du pied à coulisse comme toise...



B.4. Notre lentille en mode projection...

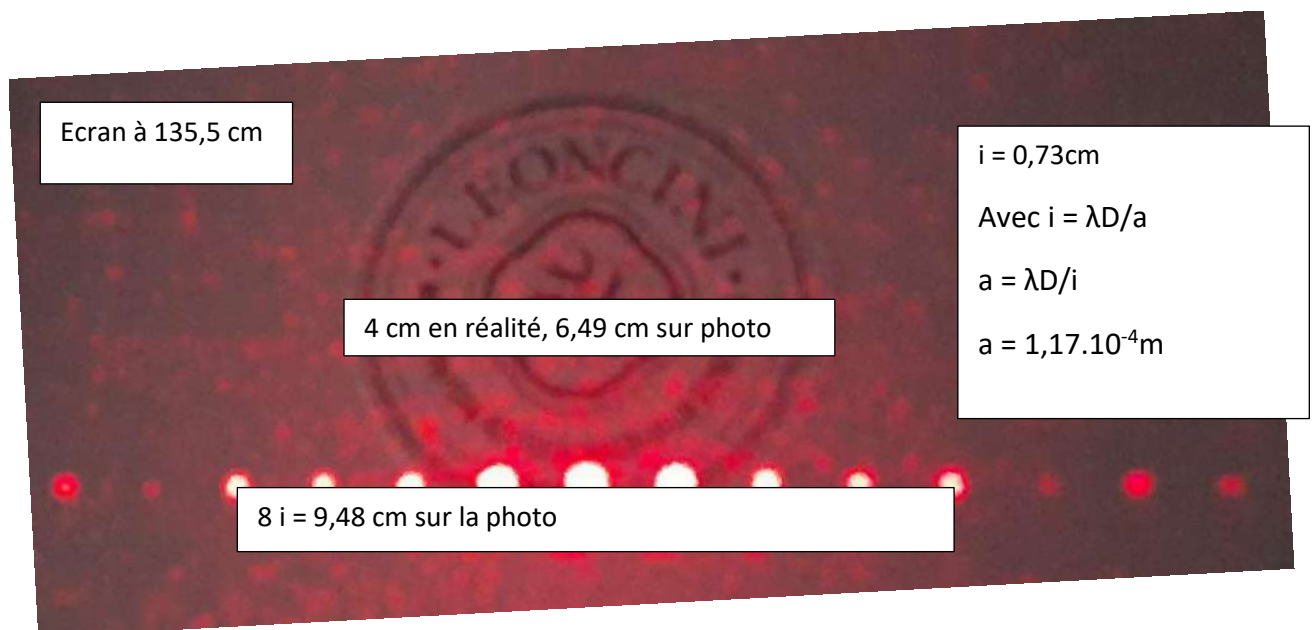
Une expérience découverte dans un des documents que le rapporteur de notre groupe nous a communiqué...

Projeter une fine trame sur un écran... Réaliser des mesures, calculer la distance focale de la lentille.



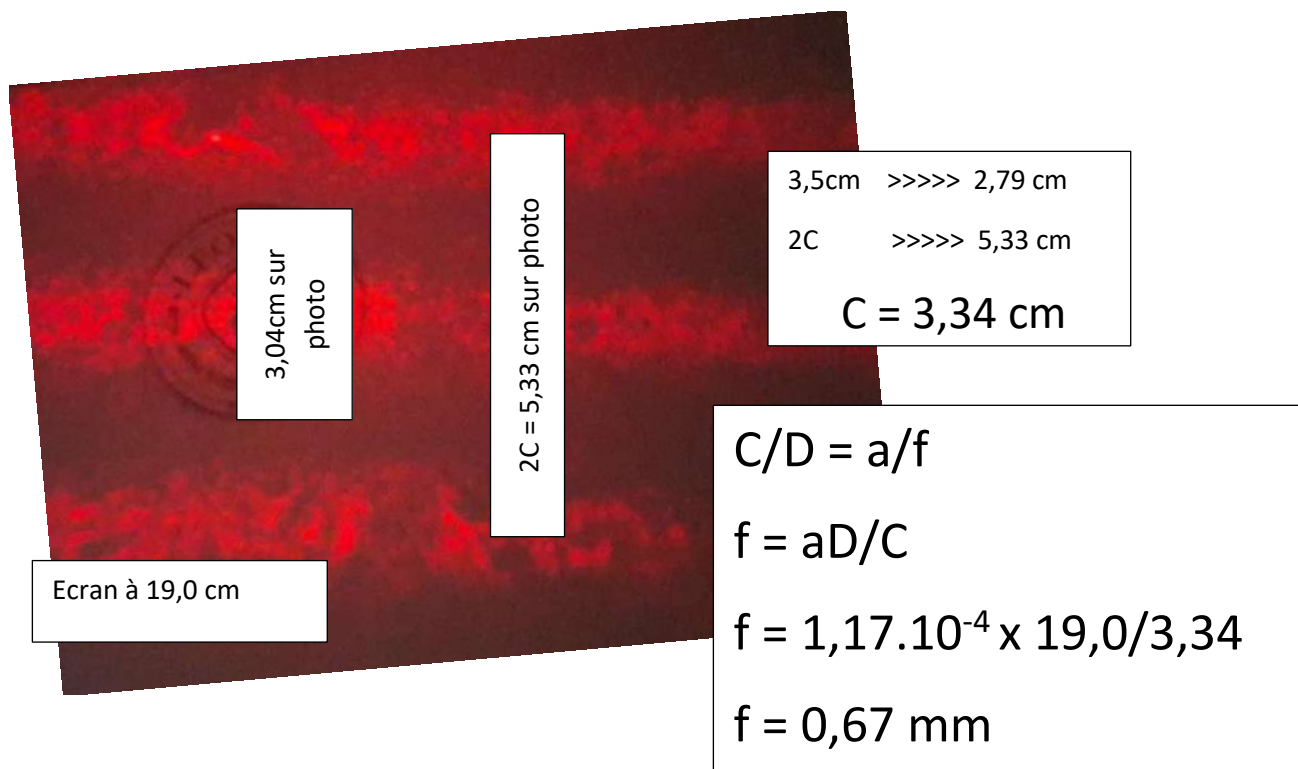
La diapo est éclairée par le LASER, une figure d'interférence apparaît sur la boîte qui nous sert d'écran à une distance de 135,5 cm. La mesure de l'interfrange i nous permet de déterminer le pas a de la trame, distance entre deux bandes transparentes consécutives.

Sur la boîte du pâtissier Leoncini, qui nous sert d'écran, le « macaron » est notre toise (diamètre du macaron 40mm bord à bord, ou 35 mm cercle noir)



La diapo et la lentille juxtaposées sont éclairées par un LASER de longueur d'onde $\lambda = 633\text{nm}$

La projection de la trame sur l'écran située à 19,0 cm de la plus petite lentille nous permet de mesurer la taille C de l'image, distance entre les images de deux fentes consécutives...



Cela nous permet de calculer un grossissement avec la relation $G = 1/4f$

G = 373 soit environ **370**

C. En conclusion

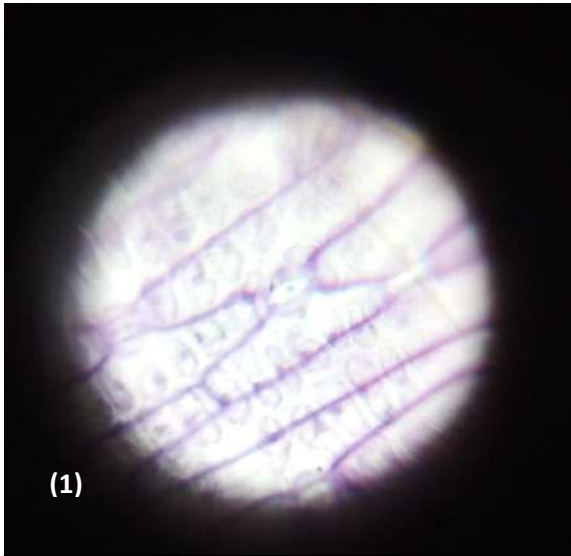
Les différentes méthodes convergent-elles vers le même résultat ?

Pour notre petite lentille de verre de 1,1 mm de diamètre...

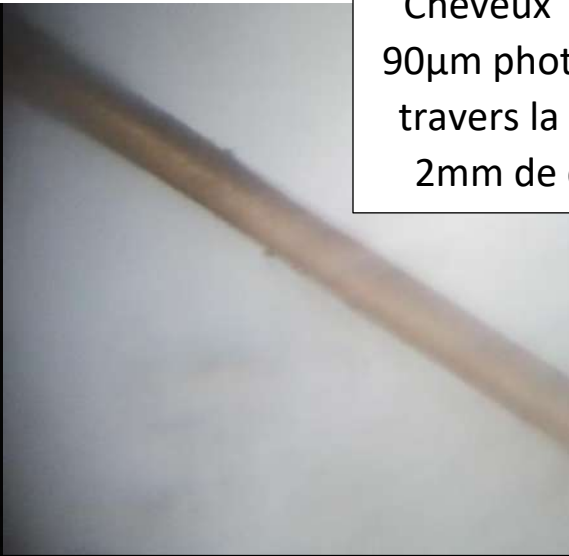
Méthode B.1.	Par « comparaison » d'images Lentille/Microscope	$G \approx 310$
Méthode B.2.	Une autre démarche avec un smartphone... Evaluer α'	$G \approx 340$
Méthode B.3.	De la loupe à notre lentille boule, jeu de récipients	$G \approx 298$
Méthode B.4.	Notre lentille en mode projection	$G \approx 370$

Un grossissement moyen $G_{\text{moy}} = 330$ et un écart à la moyenne pour la valeur la plus éloignée de 13%

Mieux évaluer les incertitudes sur les mesures, déterminer des encadrements des grossissements calculés est notre prochain objectif.

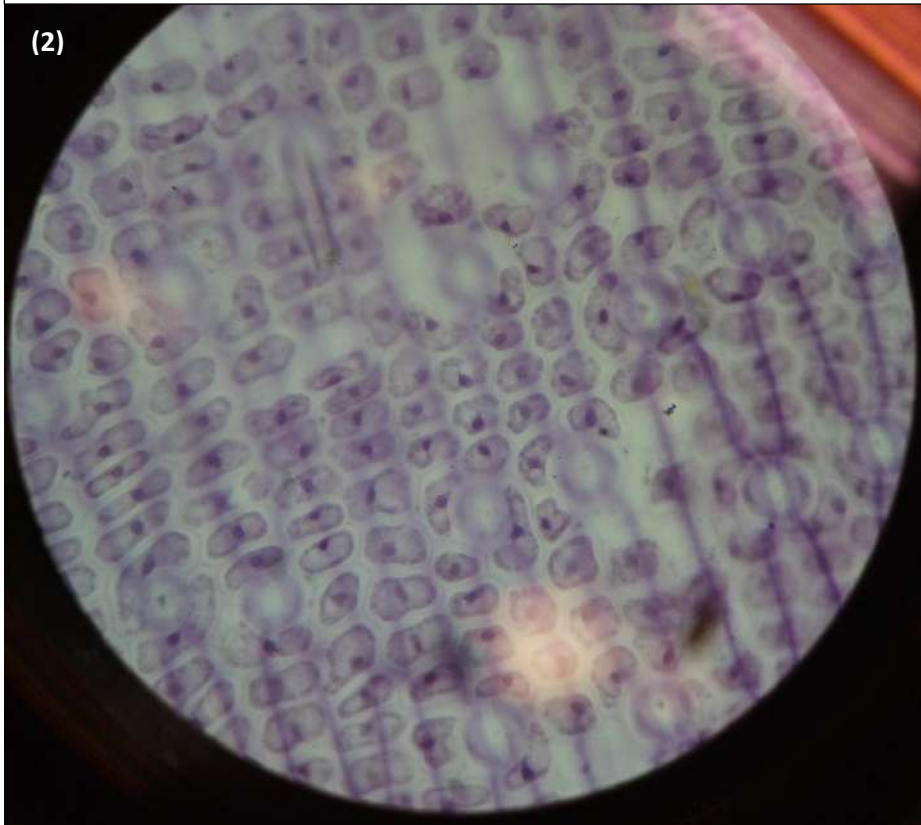


(1)



Cheveux d'environ
90 μ m photographié à
travers la lentille de
2mm de diamètre

Cellule d'épiderme foliaire observée avec (1) notre lentille de
1mm de diamètre et (2) au microscope optique x400



(2)

D. Les pistes que nous pourrions encore envisager

Une des pistes envisageable est de contacter « Le Cerfav », le Centre Européen de Recherches et de Formation aux Arts Verriers de Vannes-le-Châtel, pour savoir de quels dispositifs Leeuwenhoek disposait pour réaliser son travail. Un artisan d'art, Mme Marie-Christine Marovelli, réalise des perles de verre à Ajaccio, elle nous recevra dès que les conditions sanitaires se seront améliorées.