

Samedi 22 octobre 2022

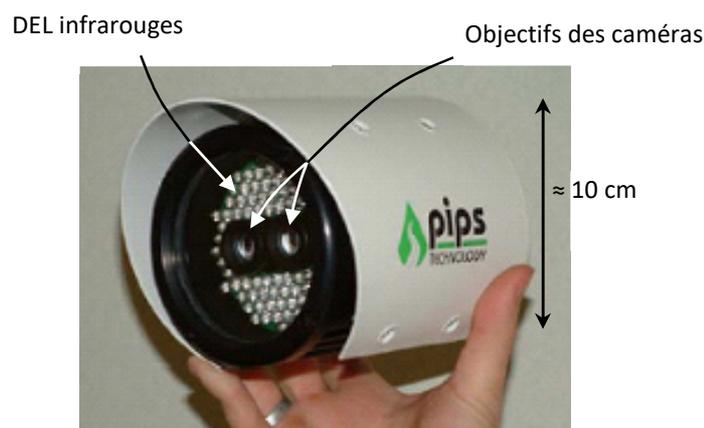
DEVOIR SURVEILLE N°2

PHYSIQUE

I. Caméra de contrôle des plaque d'immatriculation (d'après E3A MP 2012) :

Pour diminuer le nombre de véhicules circulant dans les centres-villes et réduire ainsi les embouteillages, la pollution et le bruit qu'ils engendrent, plusieurs grandes agglomérations (Londres, Singapour, Stockholm) utilisent un système de péage urbain. Différentes technologies sont mises en œuvre pour détecter les véhicules entrant dans la zone de circulation taxée. Le système londonien, appelé London Congestion Charge (mis en place en 2003) utilise un réseau de 500 caméras installées à chaque point permettant d'entrer ou de sortir de la zone payante. Les images obtenues sont ensuite analysées par un algorithme LAPI (Lecture Automatique des Plaques d'Immatriculation) qui génère une liste des véhicules ayant circulé dans le centre-ville, ce qui déclenche la facturation d'une taxe.

Ces systèmes doivent être robustes, peu coûteux, ne nécessiter aucun réglage et être fonctionnels dans des conditions de luminosité très variées. Le modèle retenu (ci-contre) comporte deux caméras identiques : l'une enregistrant dans le domaine visible et l'autre dans le proche infrarouge grâce à un filtre stoppant les radiations visibles. Un ensemble de diodes électroluminescentes (DEL) émettant des flashes de longueur d'onde respective 810 nm et 950 nm entoure les caméras et permet d'illuminer la plaque d'immatriculation.



Caméra P362 de la société PIPS®

Les spécifications du constructeur sont les suivantes : le capteur CCD de ces caméras est un rectangle de diagonale 0,635 cm et est découpé en 752 x 582 pixels (largeur x hauteur) ; les pixels sont des carrés tous identiques, de côté a .

Pour réduire le coût, les risques de panne et les réglages lors de l'installation, ces caméras ont une distance focale image f' fixe. Le constructeur propose différents modèles destinés à enregistrer les plaques d'immatriculation à une distance de mesure déterminée L . Le tableau suivant résume les modèles disponibles :

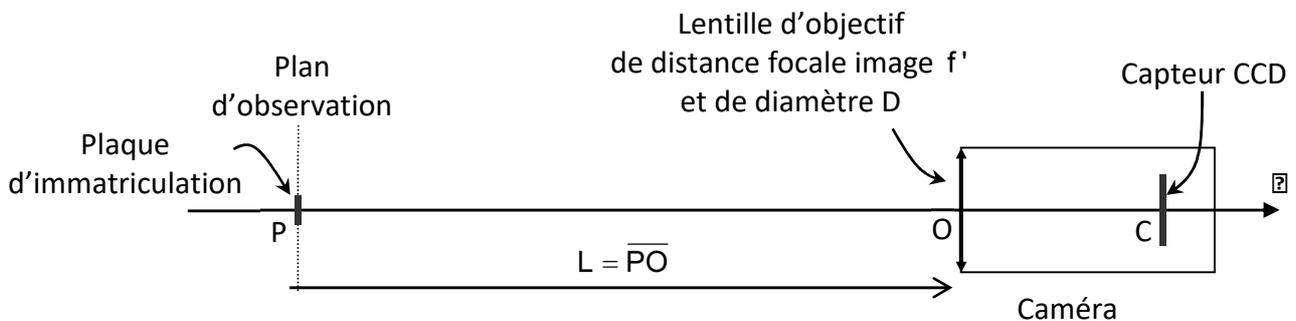
Modèle de caméra	1	2	3	4	5
Focale image	35,0 mm	25,0 mm	16,0 mm	12,0 mm	8,00 mm
Distance de mesure	20,0 m	14,5 m	9,0 m	7,0 m	4,5 m

La norme britannique concernant les plaques d'immatriculation est la suivante : les plaques doivent mesurer 110 mm de hauteur et 520 mm de largeur ; les caractères doivent avoir une hauteur de 79 mm et une largeur de 50 mm, l'épaisseur du trait étant fixée à 14 mm.



A. Dimensionnement des caméras

Les caméras sont identiques et constituées d'une lentille d'objectif de distance focale image f' qui forme sur le capteur CCD une image de la plaque d'immatriculation. La figure présentée ci-dessous illustre cette configuration (les échelles relatives ne sont pas respectées).



- Exprimer la distance \overline{OC} en fonction de $L = \overline{PO}$ et $f' = \overline{OF'}$. Justifier pourquoi la lentille doit nécessairement être convergente.
- Écrire le grandissement transversal γ_t en fonction de L et f' .
- En tenant compte des valeurs numériques du tableau précédent, simplifier l'expression de \overline{OC} obtenue à la question 1. Commenter.
- Simplifier de même l'expression de γ_t . Faire un traitement statistique de type A des grandissements obtenus à l'aide du tableau précédent. En déduire la valeur de γ_t avec son incertitude-type. [C'est un abus car ce ne sont pas les mêmes lentilles mais il faut bien faire un peu de calcul d'incertitudes !].

5. Déterminer la largeur L et la hauteur h du capteur CCD en millimètres. En déduire la valeur numérique de la longueur a du côté d'un pixel de ce capteur.

Pour la suite, on prendra $L = 5,0$ mm, $h = 4,0$ mm et $a = 7,0$ μm .

6. En déduire les dimensions du champ de vue dans le plan d'observation. Est-il suffisant d'installer une caméra par rue permettant d'accéder au centre-ville ?

7. Déterminer la taille de l'image d'un des caractères de la plaque d'immatriculation sur le capteur CCD en micromètres, puis en pixels.

8. Le dimensionnement de la caméra est imposé par une valeur optimale de γ_t qui repose sur un compromis entre deux contraintes antagonistes : préciser lesquelles.

9. Quels problèmes se poseraient si le dispositif ne filmait que dans le domaine visible ? Quels sont les avantages à filmer une seconde image en infrarouge ?

Les lentilles de ces caméras ont un diamètre $D = 1,00$ cm. Elles se comportent donc comme une pupille circulaire qui diffracte la lumière. L'image d'une source ponctuelle n'est donc pas un point mais présente une certaine étendue spatiale due à la diffraction.

10. Calculer, pour la caméra de modèle 1, l'ordre de grandeur de la largeur de la tache de diffraction de l'image d'un point sur le capteur CCD pour le rayonnement infrarouge utilisé. Comparer ce phénomène à la pixellisation de l'image. Limite-t-il la résolution ?

B. Profondeur de champ

Bien que ces caméras ne disposent pas de dispositif de mise au point (leur distance focale est fixe), il est néanmoins possible de visualiser des plaques d'immatriculation qui ne sont pas rigoureusement situées à la distance L spécifiée par le constructeur (cf. tableau). Le but de cette partie est de déterminer la profondeur de champ Z , c'est-à-dire la longueur de la zone de l'espace où l'objet peut être placé afin que la caméra en fournisse une image considérée comme nette. En annexe 1, les différentes figures représentent un objet ponctuel situé sur l'axe optique à différentes distances de la caméra. Les constructions ne sont pas à l'échelle et ont pour seul but d'illustrer le phénomène. Le diamètre de la lentille est $D = 1,00$ cm.

Sur la première figure, l'objet est situé en P_0 , à la distance L spécifiée par le constructeur.

11. Compléter cette figure en représentant le trajet des deux rayons lumineux issus de P_0 et frappant la lentille en deux points extérieurs diamétralement opposés. Représenter la position de l'image C_0 de ce point P_0 par la lentille d'objectif. Un soin particulier est attendu dans la réalisation de la construction [donc faire une vraie construction des images !].

Le capteur CCD est positionné dans le plan perpendiculaire à l'axe optique et passant par C_0 . L'objet ponctuel P_1 est maintenant placé à une distance $\Delta_1 = \overline{P_0P_1} > 0$ de P_0 .

12. Compléter la seconde figure de l'annexe 2 en y représentant :

- le plan du capteur CCD (en reportant le point C_0 de la construction de la question précédente) ;
- le trajet des deux rayons lumineux issus de P_1 et frappant la lentille en deux points extérieurs diamétralement opposés. Son image est notée C_1 .

Ce faisceau ne forme pas une image ponctuelle sur le capteur mais un disque de diamètre d_1 qui doit être inférieur à la taille a d'un pixel pour que l'image soit nette : $0 < d_1 < a$.

13. Montrer que le diamètre de la tache image, noté d_1 , peut s'exprimer sous la forme :

$$d_1 = \beta \frac{f' \Delta_1}{(L - f')(L - \Delta_1)}$$

En exprimant β .

14. Compléter la troisième figure, dans le cas où $\overline{P_0P_2} = -\Delta_2 < 0$ ($\Delta_2 > 0$ est une distance).

Le diamètre de la tache image peut alors s'exprimer sous la forme :

$$d_2 = \beta \frac{f' \Delta_2}{(L - f')(L + \Delta_2)}$$

15. Simplifier les expressions de d_1 et d_2 sachant que $f' \ll L$.

16. Exprimer, en fonction de a , L , D et f' , les distances $\Delta_{1\max}$ et $\Delta_{2\max}$ correspondant à la limite de netteté.

17. Calculer les valeurs numériques des distances $\Delta_{1\max}$ et $\Delta_{2\max}$ pour la caméra 3, en prenant $a = 7,0 \mu\text{m}$.

18. En déduire la profondeur de champ Z de cette caméra. Commenter.

19. Commenter le choix d'une lentille de petit diamètre pour réaliser cette caméra.

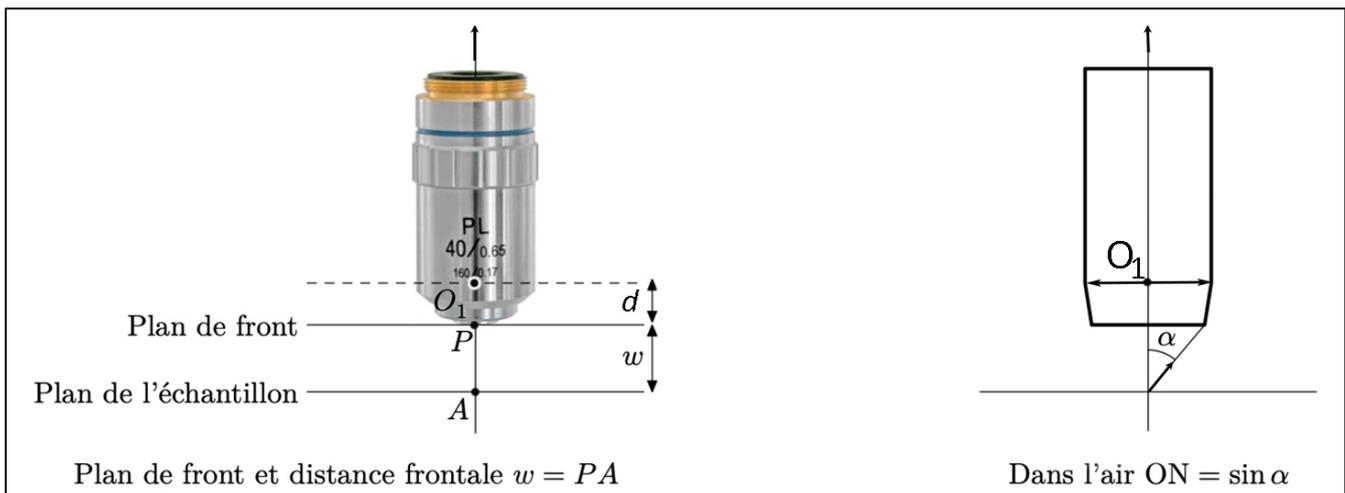
II. Microscopie classique (d'après Centrale PC 2021) :

Un microscope est constitué d'un objectif et d'un oculaire.

La lumière émise par l'échantillon traverse l'objectif avant de sortir de l'instrument par l'oculaire.

L'objectif d'un microscope est un dispositif optique complexe constitué de plusieurs lentilles optiques.

L'objectif choisi est celui de la figure ci-dessous. Il porte les indications : **40 / 0.65 – 160 / 0.17**



Cela signifie que :

- Son grandissement transversal est $\gamma_t = -40$,
- Son ouverture numérique (ON) est $\sin \alpha = 0,65$ où α est l'angle du rayon le plus écarté de l'axe entrant dans l'objectif,
- Le microscope doit avoir un intervalle optique (définie plus loin dans le sujet) est égal à $\Delta = 160$ mm,
- L'épaisseur des lamelles couvre-objet doit être au maximum de 0,17 mm.

Le plan de front P indiqué est le plan contenant la monture de l'objectif.

On modélise l'objectif choisi par une lentille mince convergente de centre optique O_1 .

Le plan de front est alors en avant du point O_1 d'une distance $d = \overline{PO_1} = 3,5$ mm.

Cet objectif est associé à un oculaire équivalent à une lentille mince de distance focale image $f_2' = +20$ mm.

L'objectif et l'oculaire sont maintenus solidaires par le tube du microscope qui impose la distance $F_1'F_2$ entre le foyer image de l'objectif et le foyer objet de l'oculaire. Cette distance $\Delta = F_1'F_2$ est appelée *intervalle optique* du microscope : $\Delta = 160$ mm.

Un schéma optique du microscope est représenté en annexe 2. Il n'est pas à l'échelle.

Par souci de simplicité, on se placera dans le cadre de l'approximation de Gauss pour les calculs, même si elles sont en pratique mal vérifiées.

1. Rappeler les conditions d'un Gauss pour un système optique centré en précisant leur utilité. Comment les réaliser en pratique et quel est alors le principal inconvénient ? L'ouverture numérique donnée ON est-elle en accord avec les conditions de Gauss ?

Le microscope est utilisé de telle façon que l'œil n'ait pas besoin d'accommoder.

2. Où doit se former l'image intermédiaire donnée par l'objectif, pour une observation sans accommodation de l'image à travers l'oculaire ?
3. Sur le schéma de l'annexe 2, réaliser la construction géométrique de l'image de l'objet AB par l'ensemble du microscope.
4. Déterminer puis calculer la distance focale équivalente f_1' de la lentille modélisant l'objectif pour assurer que son grandissement transversal soit $\gamma_t = -40,0$.
5. Sachant que Δ est usiné avec une précision de 0,2 mm, quelle doit être la précision sur f_1' pour que le grandissement de l'objectif soit égal à -40,0 avec une précision de 0,1.
6. Exprimer puis calculer la distance frontale w (distance dite *de travail*), c'est-à-dire la distance $w = \overline{AP}$ séparant la lame porte-échantillon et le plan de front de l'objectif $\times 40$. Expliquer pourquoi certains objectifs de fort grandissement sont équipés d'un système à ressort qui évite la détérioration de la lentille frontale.

[question bonus de M. Péhaut : pourquoi utilise-t-on la lettre w pour désigner la distance de travail ?]

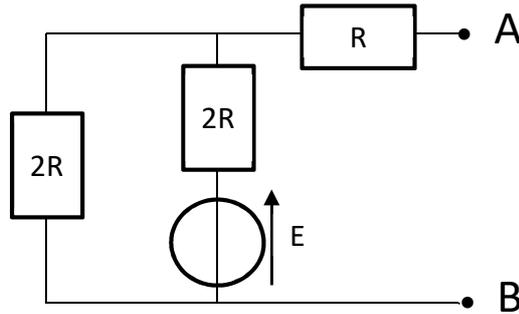
On considère que l'œil est capable d'accommoder pour avoir une vision nette d'un objet situé à une distance minimale $d_m = 25,0$ cm. L'œil est positionné dans le plan focal image de l'oculaire.

7. Calculer la latitude de mise au point du microscope pour cet objectif, c'est-à-dire la distance dont on peut déplacer l'objectif par rapport à l'objet en conservant une vision nette. Conclusion ?
8. A l'aide de la figure réalisée à la question 3 établir la relation entre l'angle α' sous lequel est vue l'image à la sortie du microscope et la taille de l'image intermédiaire A_iB_i .
9. En déduire le grossissement G de ce microscope défini par : $G = \alpha' / \alpha_{pp}$ où α_{pp} est l'angle sous lequel est vu, à l'œil nu, l'objet AB placé au Punctum Proximum de l'œil (donc à la distance d_m en avant de l'œil). Quel est le signe de G ?

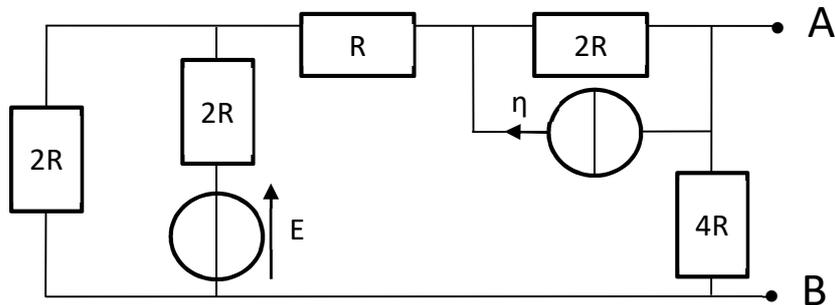
III. Electrocinétique en régime stationnaire

Le barème tient compte du temps nécessaire pour présenter correctement (rédaction et dessins des circuits à la règle et sans rature) : ne traitez pas ces questions avec précipitation !

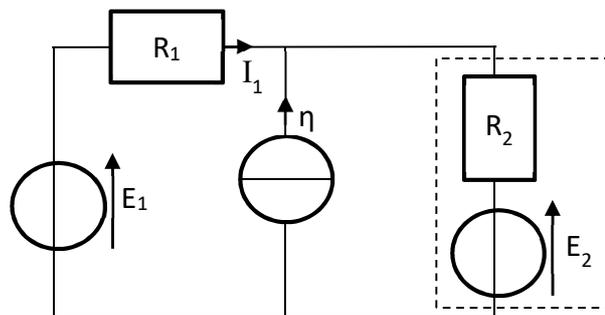
1. Déterminer la f.é.m $E_{\text{éqv}}$ et la résistance interne $R_{\text{éqv}}$ du générateur de Thévenin équivalent au circuit présenté ci-dessous entre les nœuds A et B et faire l'A.N. pour $R = 100 \Omega$ et $E = 16 \text{ V}$:



2. On complète le circuit précédent de la manière présentée ci-dessous. Déterminer $E'_{\text{éqv}}$ et $R'_{\text{éqv}}$ du générateur de Thévenin équivalent au circuit entre les nœuds A et B et faire l'A.N. pour $R = 100 \Omega$, $E = 16 \text{ V}$ et $\eta = 200 \text{ mA}$.



3. Déterminer les valeurs numériques des puissances fournies par le générateur **idéal** de tension E_1 , par le générateur **réel** de tension (E_2 associée à R_2) et par le générateur **idéal** de courant sachant que $E_1 = 5,0 \text{ V}$, $E_2 = 8,0 \text{ V}$, $R_1 = 20 \Omega$, $R_2 = 5 \Omega$ et $\eta = 0,80 \text{ A}$. On commencera par calculer le courant I_1 .



4. Établir le bilan de puissance et vérifier qu'il est équilibré.

On souhaite déterminer la f.é.m E et la résistance interne R_{int} d'une pile en TP. On dispose d'un multimètre et d'une résistance R connue : $R = 47,0 \Omega$.

5. Expliquer le protocole à suivre [avec schémas bien sûr !], en déduire l'expression de la résistance interne et faire l'A.N. sachant que les deux mesures de tension réalisées donnent $U_1 = 1,568 \text{ V}$ et $U_2 = 1,331 \text{ V}$.

6. Déterminer l'incertitude-type sur U_1 et U_2 sachant que la notice indique que pour le calibre 2 V, la précision est 0,2 % de la lecture et 5 digits. Ecrire correctement le résultat.

7. Recopier et compléter les lignes de code n°7, 8, 11, 12, 13 et 14 dans le programme ci-dessous afin de déterminer l'incertitude-type sur R_{int} à l'aide de la méthode de Monte Carlo en prenant en compte la tolérance $t = 0,5\%$ de la résistance R .

```
1.  from math import *
2.  import numpy as np
3.  import numpy.random as rd
4.
5.  U1, U2 = 1.568, 1.331    #en V
6.  R = 47                  # en ohm
7.  u1, u2 =                # incertitude-type en V
8.  uR =                   # incertitude-type en ohm
9.
10. N = 10000              # nombre de tirages aléatoires
11. U1_MC =
12. U2_MC =
13. R_MC =
14. R_int_MC =
15.
16. R_int = np.mean(R_int_MC)
17. u_R_int = np.std(R_int_MC, ddof = 1)
18.
19. print('R_int = ', R_int)
20. print('u(R_int) = ', u_R_int)
```

RAPPELS SUR LES INCERTITUDES

Écriture d'un résultat avec incertitude :

$$X = x ; u(X)$$

Attention à la cohérence des **chiffres significatifs** et à ne pas oublier l'**unité**.

Incertitude-type de type A (répétition N fois de la mesure) :

Le menu STAT de la calculatrice donne la moyenne $\langle x \rangle$ et l'écart-type S_x des N mesures.

L'incertitude-type de la mesure est donnée par :

$$u_A = \frac{S_x}{\sqrt{N}}$$

Incertitude-type de type B (mesure unique) :

- On détermine le **demi-intervalle** acceptable pour la mesure, noté **a** :

- pour une lecture sur une **échelle graduée** (règle, thermomètre gradué, palmer...) :

$$a = 1/2 \text{ graduation}$$

- pour un **appareil de mesure** à affichage digital (voltmètre, thermomètre électronique, ...) :

a est appelé **précision** et est donné par la **notice**

- pour un **composant** (résistances, condensateurs, bobines, ...) :

a est appelé **tolérance** et est donné par le **fabricant**

- pour une **évaluation directe par l'utilisateur** entre x_1 et x_2 :

$$x = \frac{x_1 + x_2}{2} \quad \text{et le demi-intervalle } a = \frac{x_2 - x_1}{2}$$

- Si la mesure est à lecture double : **a** est multiplié par $\sqrt{2}$

- L'incertitude-type de la mesure est donnée par :

$$u_B = \frac{a}{\sqrt{3}}$$

Comparaison d'une mesure : $x_1 ; u(x_1)$

avec une valeur de référence x_{ref}	avec une autre mesure : $x_2 ; u(x_2)$
On détermine l' écart normalisé ou z-score :	
$z = \frac{ x_1 - x_{ref} }{u(x_1)}$	$z = \frac{ x_1 - x_2 }{\sqrt{u(x_1)^2 + u(x_2)^2}}$
<p>Si $z < 2$, on considère qu'il y a compatibilité</p> <p>Si $z \geq 2$, on considère qu'il y a incompatibilité et il faut chercher la cause.</p>	

Propagation des incertitudes dans les calculs**Une seule variable : $Y = f(X)$**

Relation affine : $si Y = a X + b \text{ alors } u(Y) = |a| u(X)$

Relation de puissance : $si Y = a X^n \text{ alors } \frac{u(Y)}{Y} = |n| \frac{u(X)}{X}$

Deux variables : $Y = f(X_1, X_2)$

Combinaison linéaire : $si Y = a X_1 + b X_2 \text{ alors } u(Y) = \sqrt{(a u(X_1))^2 + (b u(X_2))^2}$

Monôme : $si Y = X_1^a X_2^b \text{ alors } \frac{u(Y)}{Y} = \sqrt{\left(a \frac{u(X_1)}{X_1}\right)^2 + \left(b \frac{u(X_2)}{X_2}\right)^2}$

Fonction du module `random.numpy` (as `rd`) :

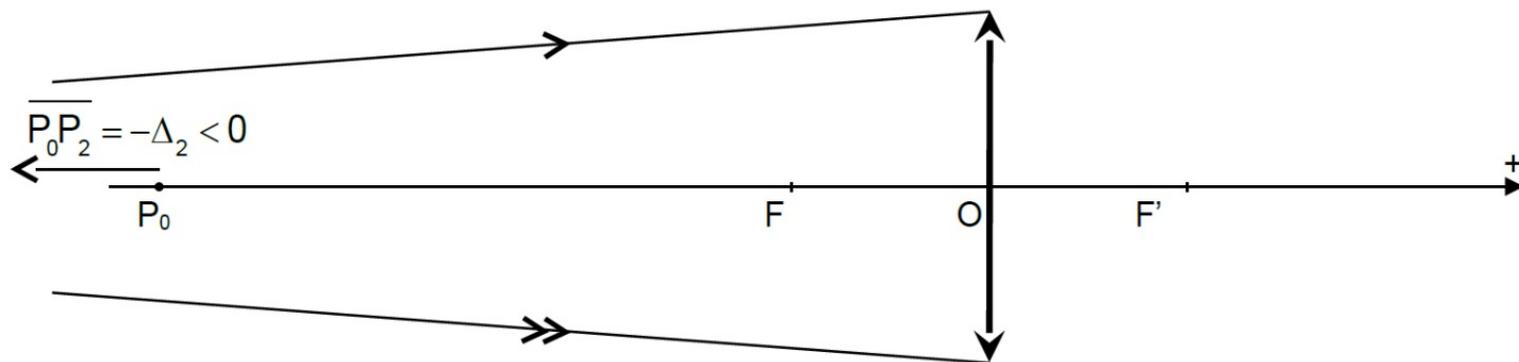
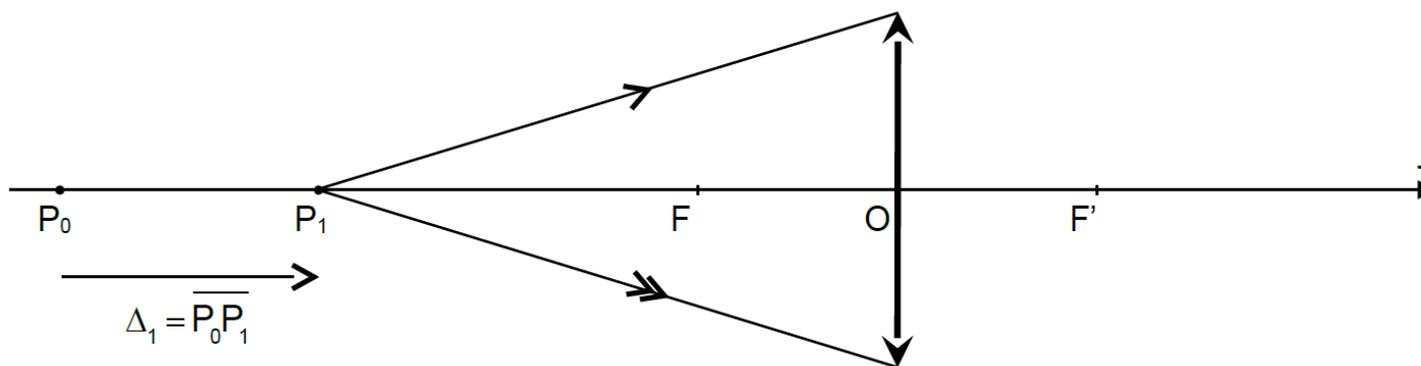
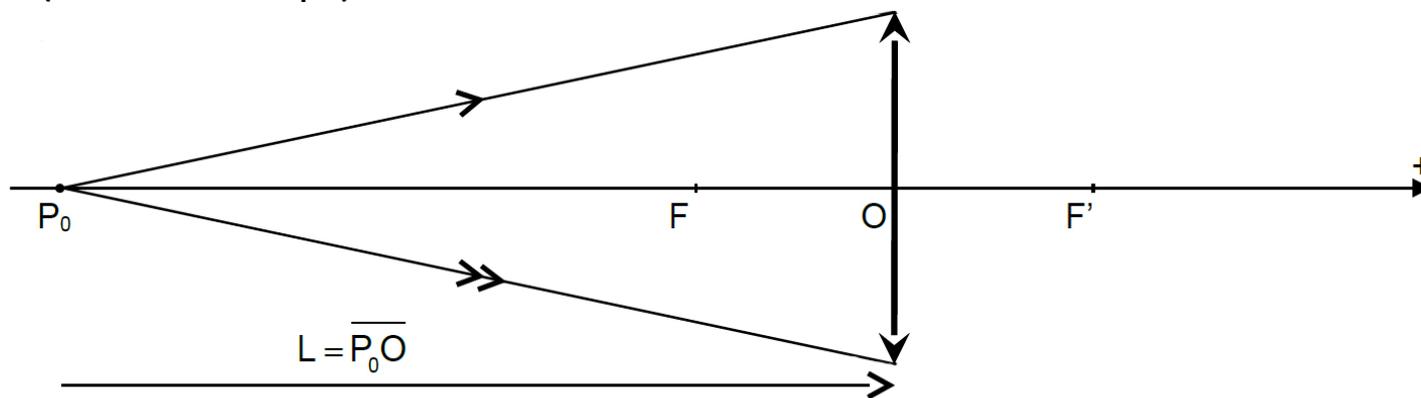
`rd.uniform(-1, 1, N)` création d'un tableau de N valeurs aléatoires réparties uniformément entre -1 et 1.

Fonction du module `numpy` (as `np`) :

`np.mean(T)` renvoie la moyenne des valeurs du tableau T.

`np.std(T, ddof = 1)` renvoie l'écart-type expérimental (S_X) des valeurs du tableau T.

ANNEXE 1 (à rendre avec la copie)



ANNEXE 2 :

