



**POLYTECHNIQUE  
MONTRÉAL**

UNIVERSITÉ  
D'INGÉNIERIE

## **PHS2223 – INTRODUCTION À L’OPTIQUE MODERNE**

**Équipe : 04**

---

### **Expérience 2**

#### Objectif de caméra

---

**Présenté à**  
Guillaume Sheehy  
Esmat Zamani

**Par :**  
Émile Guertin-Picard (2208363)  
Laura-Li Gilbert (2204234)  
Tom Dessauvages (2133573)

14 octobre 2024  
Département de Génie Physique  
Polytechnique Montréal

## Table des matières

<b>1 Résultats</b>	<b>1</b>
1.1 Profondeur de champ . . . . .	1
1.2 Analyse de résolution . . . . .	3
1.3 Vignettage . . . . .	4
1.4 Facteur de zoom . . . . .	7
1.5 Tableau des caractéristiques . . . . .	7
<b>2 Discussion</b>	<b>7</b>
2.1 Retour sur l'hypothèse . . . . .	7
2.2 Sources d'erreurs . . . . .	7
2.3 Réponses aux questions . . . . .	8
<b>3 Conclusion</b>	<b>9</b>

## 1 Résultats

Cette section présente et analyse les différentes images capturées lors des manipulations.

### 1.1 Profondeur de champ

Tout d'abord, les images qui suivent permettent d'analyser la profondeur de champ du système de lentilles dans deux configurations, soit celle offrant un zoom minimal, et celle offrant un zoom maximal. Pour obtenir ces images, à chaque extrême de zoom, le focus est mis sur une cible graduée, à une distance de 1m. Ensuite, cette cible est déplacée d'abord devant, puis derrière la distance focale, jusqu'à perte du focus. Cela est déterminé approximativement par la perte de définition entre les graduations présentes sur la cible. La distance de déplacement jusqu'à cette perte est notée afin de faire le calcul de profondeur de champ. Pour le zoom minimal :

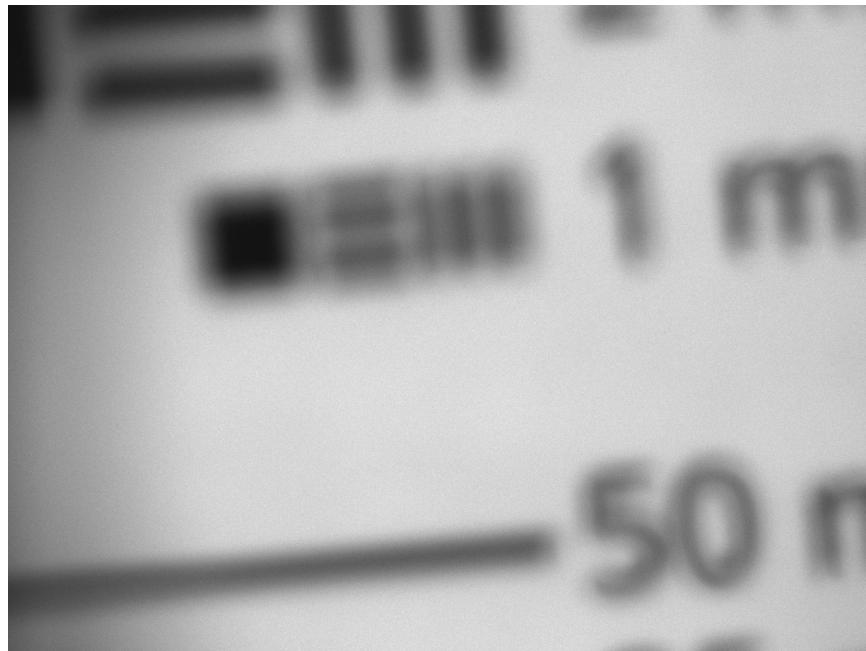


Figure 1 : Photo du perte de focus en amont du point focal de 1m, soit à 0.458m, pour le zoom minimal.

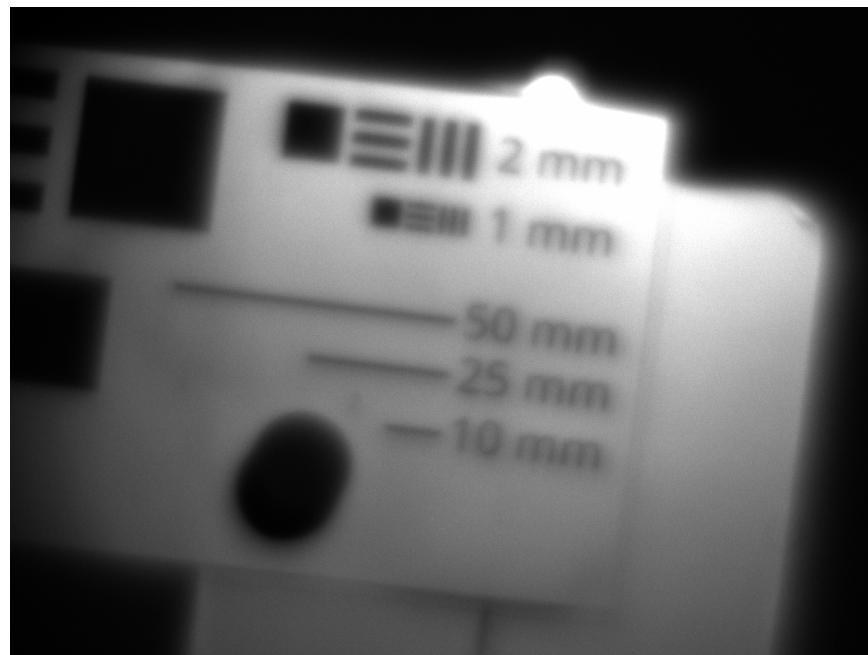


Figure 2 : Photo du perte de focus en aval du point focal de 1m, soit à 1.986m, pour le zoom minimal.

La différence entre les deux positions de perte de focus est donc la profondeur de champ. Il est donc possible de trouver  $\delta_{z,min} = 1.528\text{m}$ . Pour le zoom maximal :

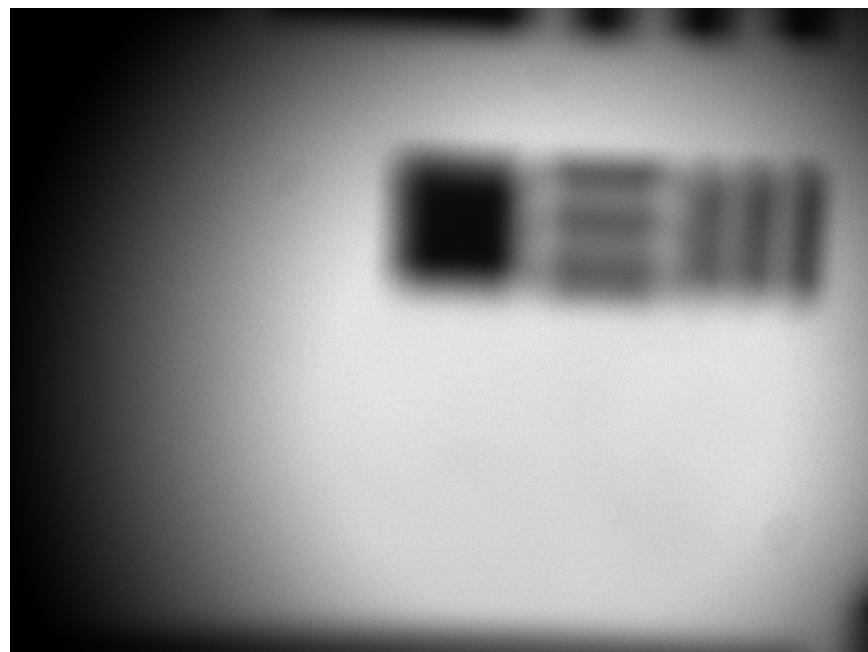


Figure 3 : Photo du perte de focus en amont du point focal de 1m, soit à 0.711m, pour le zoom maximal.

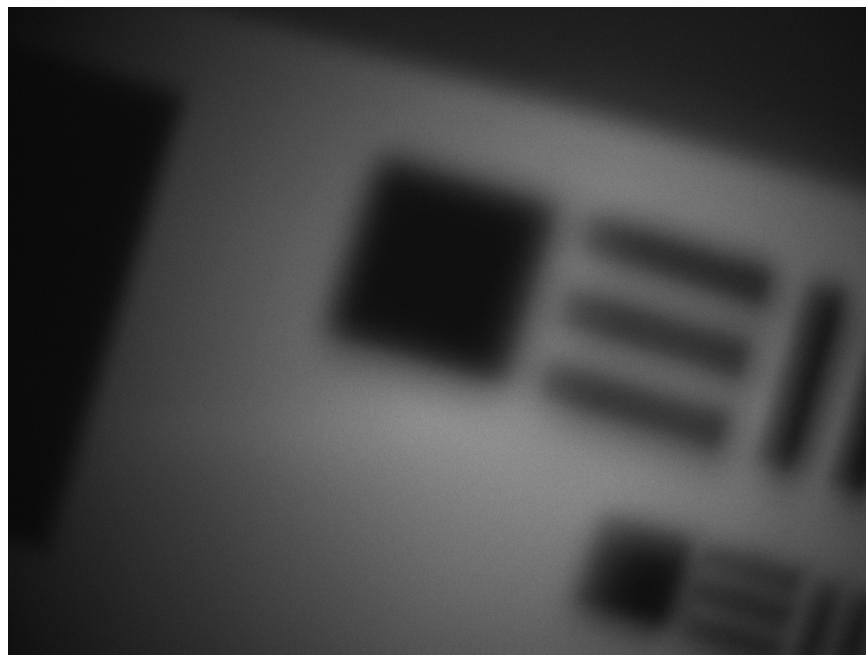


Figure 4 : Photo du perte de focus en aval du point focal de 1m, soit à 1.174m, pour le zoom maximal.

De la même manière, il est possible de trouver la profondeur de champ  $\delta_{z,max} = 0.463\text{m}$ .

## 1.2 Analyse de résolution

Afin d'analyser la résolution de la caméra, deux photos de la cible ont été prises au focus de la caméra à 1m, autant pour le zoom minimal que pour le zoom maximal :



Figure 5 : Photo de l'objet au focus de 1m pour le zoom minimal.

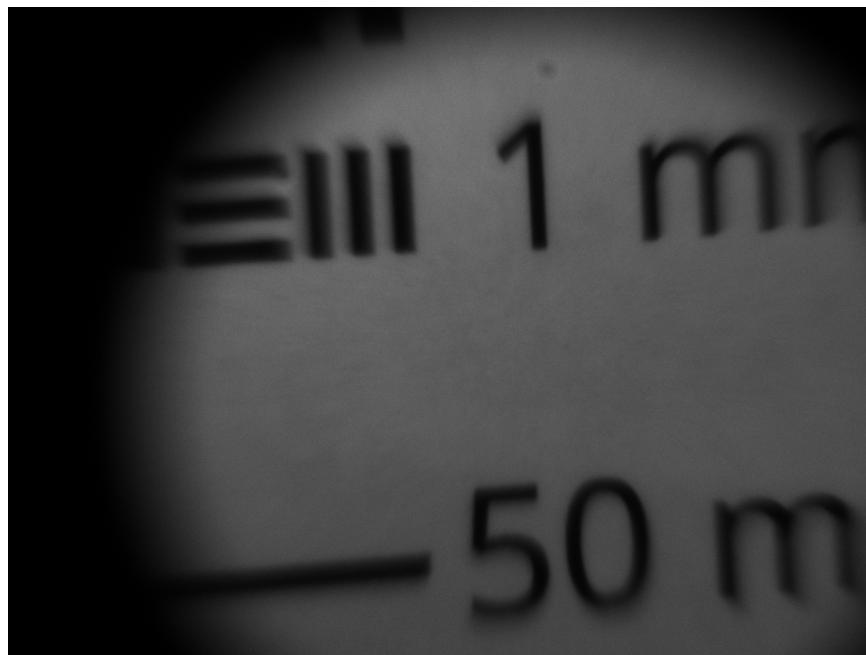


Figure 6 : Photo de l'objet au focus de 1m pour le zoom maximal.

[TODO Tom]

### 1.3 Vignettage

L'analyse du vignettage se fait qualitativement en comparant sa présence aux deux niveaux de zoom, mais aussi à deux positions de l'objet, soit 1m et "l'infini". Un vignettage fort est défini par un contour net entre une région circulaire de l'image et la région "extérieure" au cercle comme noir. Moins ce contour est net, moins le vignettage est fort. Pour l'objet à 1m, en commençant par le zoom minimal :



Figure 7 : Image avec vignettage pour un objet à 1m vu avec un zoom minimal.

Ce vignettage peut être considéré comme modéré en regardant la région assombrie en bas à gauche. Ensuite, avec le zoom maximal :



Figure 8 : Image avec vignettage pour un objet à 1m vu avec un zoom maximal.

Le vignettage est beaucoup plus important avec ce niveau de zoom, tel que montré par la région totalement sombre à gauche. Pour l'objet à l'infini avec le zoom minimal :

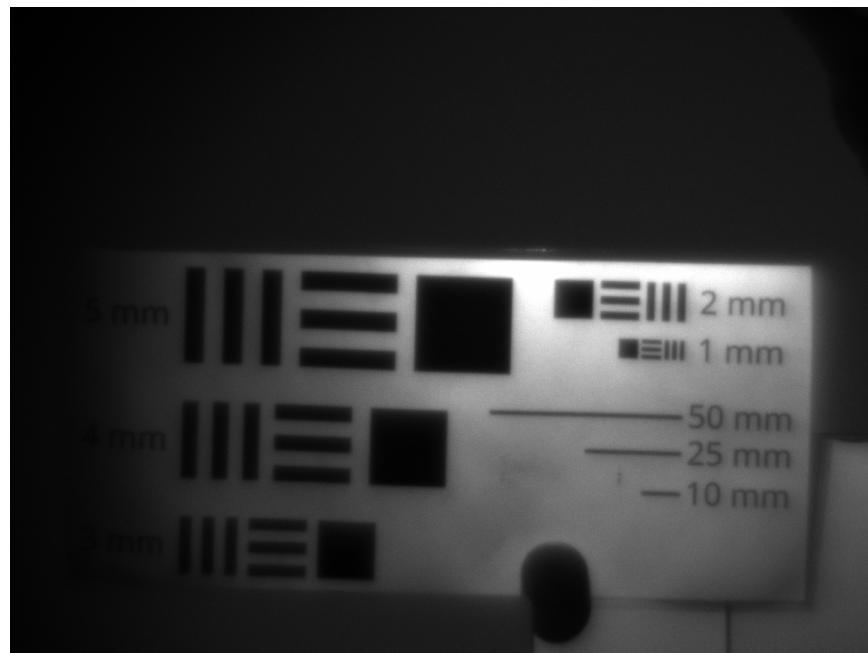


Figure 9 : Image avec vignettage pour un objet à l'infini vu avec un zoom minimal.

Ce vignettage est faible, mais perceptible à chaque coin inférieur de l'image. Avec le zoom maximal :



Figure 10 : Image avec vignettage pour un objet à l'infini vu avec un zoom maximal.

Enfin, ce vignettage est aussi modéré, voir fort. On voit une grande région assombrie à gauche, mais moins définie qu'à la figure 8.

## 1.4 Facteur de zoom

[TODO Tom]

## 1.5 Tableau des caractéristiques

Distance objet	Zoom	Profondeur champ	Résolution	Vignettage	Facteur zoom
1m	min	1.528m	[valeur]	modéré	
1m	max	0.463m	[valeur]	très fort	
Infini	min	-	[valeur]	faible	
Infini	max	-	[valeur]	fort	g

Table 1 – Tableau des principaux résultats acquis lors des manipulations.

## 2 Discussion

Cette section est dédiée à l'analyse, l'interprétation et la critique des résultats obtenus lors des manipulations.

### 2.1 Retour sur l'hypothèse

Les hypothèses émises précédemment comparaient certaines caractéristiques de performance de la caméra à la distance entre les lentilles  $L_2$  et  $L_1$ . Cela revient essentiellement à analyser les caractéristiques en fonction du zoom. En guise de rappel, les hypothèses suivantes ont été émises :

- La profondeur de champ reste constante à environ 6.6mm peu importe le zoom.
- Plus l'espace entre les lentilles est élevé, plus le zoom est important.
- Plus l'espace entre les lentilles est élevé, moins la résolution est importante.

D'abord, il est très facile de voir que la première hypothèse sur la profondeur de champ est fausse. Non seulement le comportement n'était pas constant avec le zoom, mais l'ordre de grandeur est en réalité plus près du mètre que du millimètre. Cette disparité s'explique facilement par l'omission de l'iris ajustable dans la simulation faite sur python. Cette dernière peut jouer le rôle d'ouverture d'arrêt, et donc avoir un impact direct sur la profondeur de champ [Source A](#). Sans l'avoir prise en considération, il est normal que l'hypothèse soit erronée.

Ensuite, il est possible de confirmer la deuxième hypothèse sur le zoom. La configuration avec le zoom maximal utilisé lors de la prise de photo était celle avec la plus grande séparation entre les lentilles. Le comportement précis de la courbe trouvée par simulation ne peut être confirmé toutefois, car seulement les deux extrêmes de zoom ont été testés. Cela implique donc qu'une augmentation de la distance  $L_1 - L_2$  implique une augmentation du zoom.

Cette dernière conclusion aide à redéfinir la troisième hypothèse : plus le zoom est grand, moins la résolution est importante. [A FINIR : Emile](#).

### 2.2 Sources d'erreurs

Les divergences des résultats par rapport aux hypothèses émises peuvent être expliquées par certaines causes d'erreurs. Une première cause possible correspond à l'éclairage inconstant de la pièce. Ces fluctuations, causées par l'ouverture et la fermeture de lumières, ont influencé les conditions d'illumination des

objets photographiés, notamment en affectant l'exposition, le contraste et la netteté de l'image. Ensuite, lorsque la profondeur de champ a été observée, certaines des photos prises impliquaient de se tenir entre deux tables. Pour ce faire, une personne devait maintenir l'objet à la hauteur de la caméra, causant du mouvement dans la cible. Ce manque de stabilité dans ces prises a entraîné un décalage dans certaines des images. En effet, entre l'enregistrement de l'image et l'ajustement du paramètre observé, il est possible que le manque de stabilité ait provoqué des flous, altérant la qualité de l'image.

De plus, l'ouverture de l'iris, correspondant à l'ouverture d'arrêt dans ce système optique, a été changée au cours de l'expérimentation, provoquant une variation dans l'ouverture influence le résultat obtenu. Par exemple, dans le cas de la profondeur de champ et de la résolution, une grande ouverture réduit la profondeur de champ alors qu'elle améliore la résolution et inversement pour une petite ouverture. De ce fait, pour un même point, la profondeur de champ et la résolution varient en fonction de l'iris.

Finalement, une autre cause d'erreur possible est le délai dans l'acquisition des images. Puisque les photos ne s'enregistraient pas exactement au moment choisi, le délai entre l'enregistrement et la capture choisie peut avoir varié dû aux conditions externes, soient, par exemple, l'éclairage et le mouvement de la cible.

### 2.3 Réponses aux questions

Dans cette expérience, l'iris joue le rôle d'ouverture d'arrêt dans le système optique, c'est-à-dire de réguler la lumiosité passant à travers les lentilles. De cette manière, cette régulation permet à l'ouverture d'effectuer trois fonctions principales : le contrôle de l'exposition, de la profondeur de champ et des aberrations. De cette manière, dans un objectif commercial, l'iris est souvent utilisé pour ajuster l'exposition et, par le fait même, d'améliorer la profondeur de champ de manière précise. En effet, en limitant ou augmentant la lumière entrante, il est possible d'ajuster l'exposition de l'image. Cette variation d'exposition permet de contrôler la zone de netteté de l'objet, soit la profondeur de champ, et les rayons lumineux hors focaux, de sorte que la qualité de l'image soit améliorée en fonction de la taille ([Source 1](#)). Bien que l'iris octroie plusieurs bénéfices, celui-ci n'est pas toujours nécessaire dans les systèmes optiques. Dans cette expérience, l'iris correspondait à l'ouverture d'arrêt, ce qui n'est pas toujours le cas dans tous les systèmes optiques. Ainsi, dans ces systèmes où l'ouverture d'arrêt correspond à un autre composant, la lumière est régulée avec ou sans l'utilisation de l'iris.

Les systèmes optiques, tel que les objectifs de caméra, peuvent entraîner des aberrations malgré l'utilisation d'une ouverture d'arrêt. Parmi les aberrations possibles, il n'existe pas directement d'aberrations plus fréquentes que d'autres. Cependant, deux aberrations communes correspondent aux aberrations sphériques et chromatiques transversales. Les aberrations sphériques surviennent lorsque les rayons se focalisent à des distances différentes dû à leur interaction avec les lentilles. En d'autres termes, en fonction du point de contact avec les lentilles ou les miroirs, les faisceaux ne se dirigent pas tout à fait au même point, diminuant la qualité de l'image ([Source 2](#)). Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour corriger cette aberration. Parmi celles-ci, l'utilisation de lentilles anti-sphériques est possible. Ces lentilles limitent les courbes sphériques, telles qu'illustrées dans la figure suivante :

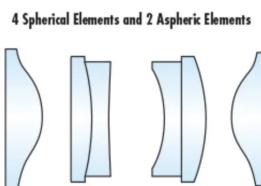


Figure 11 : Image de lentilles de forme anti-sphériques ([Source 3](#)).

Une autre méthode pouvant diminuer les aberrations sphériques correspond à utiliser un système optique symétrique. Cette méthode consiste à placer deux lentilles de sorte que les aberrations créées par la première lentille soient corrigées par la deuxième lentille, souvent placée afin que les deux lentilles se miroitent.

En ce qui concerne la seconde aberration mentionnée, soit celle chromatique, celle-ci surviennent lorsque de la réfraction des rayons sur les lentilles. En effet, les différentes longueurs d'onde de la lumière, dû à leur diverse indice de réfraction, ne se focalisent pas au même point ([Source 2](#)). Il existe deux types d'aberrations chromatiques, soit les longitudinales et les transversales. Dans le cas des caméras, les transversales sont les plus communes. Celles-ci résultent du décalage latéral des couleurs par rapport au point de focalisation ([Source 4](#)). Une méthode de correction de ce type d'aberration est d'utiliser des verres comportant des caractéristiques qui compensent la réfraction des différentes longueurs d'onde telles que des lentilles achromatiques ou des lentilles à gradient d'indice.

### 3 Conclusion

#### A FAIRE