



INSTITUT
NATIONAL
des SCIENCES
APPLIQUÉES



Projet de Physique P6-3
STPI/P6-3/2008 – Groupe 2



Noms des étudiants :

CARPENTIER Cécile LECHAPTOIS Benjamin
DESSAUX Nicolas MIOULET Luc
GRIMAUD Charles

Enseignant(s)-responsable(s) du projet :
David HONORE



Etude d'un objectif Fish-Eye



À TAILLE
HUMAINE
À L'ECHELLE
DU MONDE

Date de remise du rapport : **20/06/08**

Référence du projet : **STPI/P6-3/2008 – Groupe 2**

Intitulé du projet : **Etude d'un objectif Fish-Eye**

Type de projet : **expérimental, études.**

Objectifs du projet (10 lignes maxi) :

- **Comprendre les différences entre l'objectif fish-eye et un objectif normal.**
- **Etude de la conception optique de l'objectif fish-eye.**
- **Analyser les différents phénomènes associés à l'objectif fish-eye.**
- **Trouver des méthodes de correction de la distorsion.**

Si existant, n° cahier de laboratoire associé : **A30227**

TABLE DES MATIERES

1. Introduction.....	6
2. Méthodologie / Organisation du travail.....	6
3. Travail réalisé et résultats.....	7
3.1. Etude de l'appareil et de l'objectif.....	7
3.1.1. Caractéristiques de l'objectif.....	7
3.1.2. Caractéristiques de l'appareil	8
3.2. Mise au point et principales caractéristiques de l'objectif.....	8
3.2.1. Champ angulaire.....	8
3.2.2. Diaphragme et nombre d'ouverture.....	10
3.2.3. Profondeur de champ.....	11
3.2.4. Détermination des centres optiques	14
3.2.5. Détermination de l'image réelle à travers l'ensemble des dioptries sphériques de l'objectif.....	16
3.3. Distorsions et aberrations	18
3.3.1. Observations du phénomène de distorsion avec notre objectif fish-eye	18
3.3.2. Les aberrations causées par l'objectif fish-eye.....	18
3.3.3. Traitement de l'image.....	22
4. Conclusions et perspectives	26
5. Bibliographie.....	27
6. Annexes (non obligatoire).....	28
6.1. Documentations	28
6.2. Listings des programmes réalisés.....	32
6.3. Schémas de montages, plans de conception.....	34
6.4. Propositions de sujets de projets (en lien ou pas avec le projet réalisé).....	34

NOTATIONS, ACRONYMES

1. INTRODUCTION

L'objectif fish-eye est un objectif qui se distingue des autres par sa capacité à prendre des photos avec un grand angle de vue (presque 180° dans la diagonale). De ce fait il est très apprécié par les amateurs de photos d'architectures ou de paysages. Malheureusement cette capacité à prendre de grandes photos s'accompagne aussi de certains défauts : une distorsion en barillet assez importante, des aberrations chromatiques, ainsi que d'autres phénomènes d'optiques qui peuvent être gênant lorsque l'on désire obtenir une photo de grande qualité. Il est donc nécessaire d'utiliser des logiciels capables de corriger ces erreurs pour obtenir une photo agréable à l'œil.

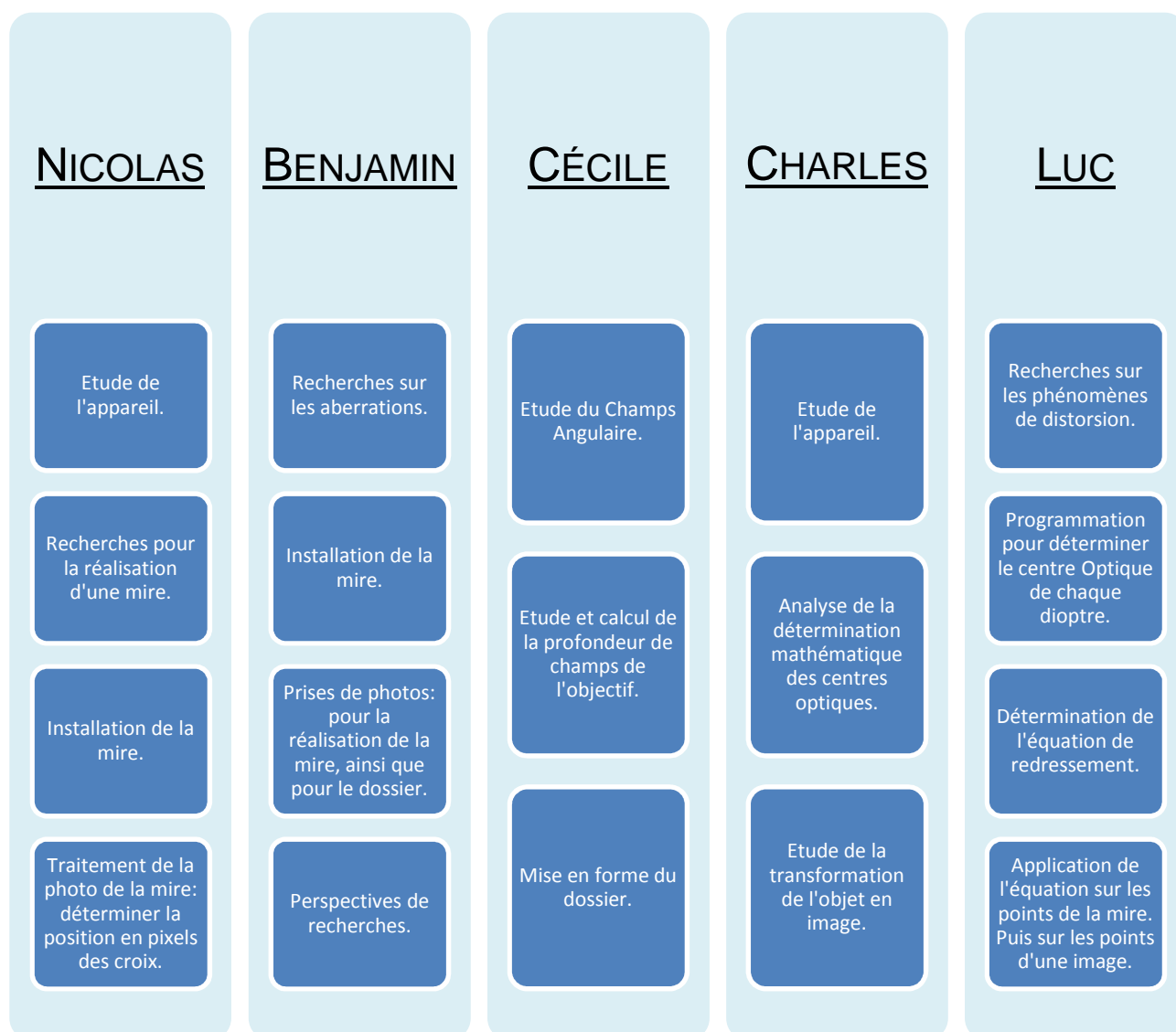
Nous décrivons, dans un premier temps, l'appareil photographique et l'objectif en rappelant son fonctionnement puis nous étudierons les principales caractéristiques de notre objectif fish-eye (champ, nombre d'ouverture, profondeur de champ). Dans une dernière partie, après avoir expliqué les aberrations causées par l'objectif fish-eye, nous chercherons à déterminer une équation pour corriger le phénomène de distorsion observé. Une fois, cette équation de correction déterminée nous l'appliquerons à une photographie.

2. METHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

- **Description de l'organisation adoptée pour le déroulement du travail**

Durant la réalisation de notre projet, personne ne s'est réellement imposé en tant que chef de projet, chacun a mené sa tâche individuellement. Nous avons aussi su garder un esprit de groupe en s'intéressant aux tâches que les autres effectuaient, mais aussi en les assistant, ou en leur préparant le terrain. Par exemple pour l'équation de redressement, il a d'abord été nécessaire de trouver un moyen technique pour prendre en photo une mire, puis de déterminer la position de chaque centre de croix, et enfin de déterminer l'équation, ce qui a en tout demandé le travail de plusieurs personnes.

- **Organigramme des tâches réalisées et des étudiants concernés**



3. TRAVAIL REALISE ET RESULTATS

3.1. Etude de l'appareil et de l'objectif

L'appareil photo est constitué principalement d'un ensemble de plusieurs lentilles qui forme l'image réelle d'un objet sur un détecteur sensible aux radiations lumineuses. L'objectif, soit le système optique est associé à un boîtier dans lequel on trouve le détecteur (CCD), un obturateur, un système optique de visée et de mise au point.

3.1.1. Caractéristiques de l'objectif

Objectif : AF FISHEYE NIKKOR 10.5mm f/2.8

Dimensions : 63x62.5 mm.

Distance focale de la lentille équivalente: 10.5 mm.

Nombre de lentilles : 10.

Champ angulaire : 180°(en diagonale).

Distance de mise au point minimale : 0.14m.

Ouverture maximale du diaphragme : f/2.8.

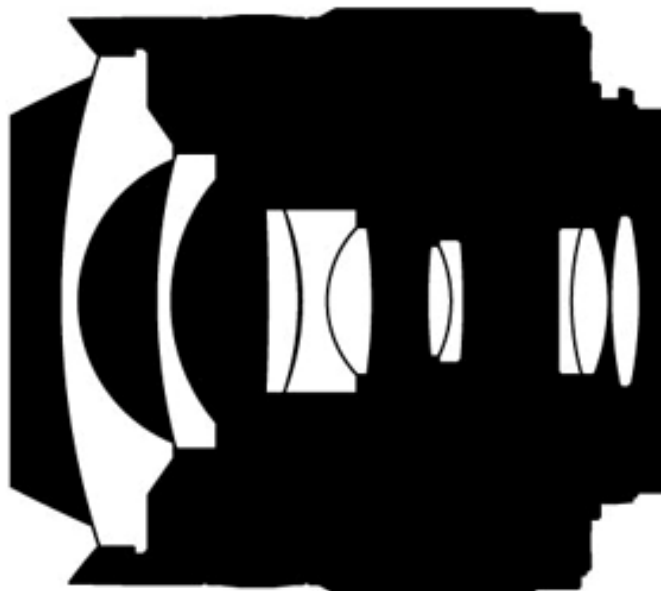


Figure 1 : Disposition des lentilles de l'objectif

L'objectif est formé de 10 lentilles, plus ou moins épaisses, séparées ou collées. Il est formé de lentilles qui peuvent se déplacer les unes par rapport aux autres : c'est un objectif qu'on appelle à géométrie variable. C'est à cause de la forme bombée de la première lentille, que l'objectif fut appelé fish-eye.

3.1.2. Caractéristiques de l'appareil

Boîtier : D40X

Nombre de pixels effectifs : 10,2 millions.

CCD : 23.6x15.8 mm.

Les détecteurs CCD permettent de réaliser facilement un traitement numérique de l'image ultérieur à son stockage. La résolution de l'appareil numérique est donc définie par la taille d'une cellule élémentaire, c'est-à-dire le pixel, du détecteur CCD.

3.2. Mise au point et principales caractéristiques de l'objectif

Afin de se familiariser avec les différentes données de l'objectif ou de l'appareil, nous avons étudié les différentes caractéristiques optiques d'un point de vue général tout en établissant un lien avec notre objectif fish-eye.

3.2.1. Champ angulaire

- Détermination théorique de ce champ angulaire pour un objet situé à l'infini.

Le dispositif de prise d'image, l'ensemble capteur CCD-objectif photographique, ne peut capter que les rayons lumineux contenus dans un certain cône, appelé champ angulaire de l'appareil. Ce champ dépend des dimensions de notre capteur CCD et de la distance focale de l'objectif utilisé. Ainsi, bien que l'on nous indique que notre objectif peut atteindre un champ angulaire de 180°, il ne sera en réalité pas possible d'atteindre cet angle vu que nous sommes limités par la taille du capteur CCD.

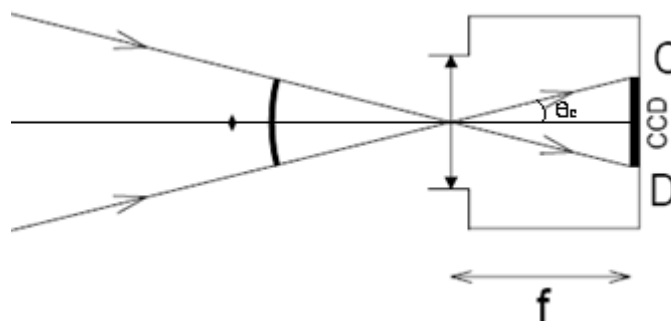


Figure 2 : Champ angulaire

Le champ angulaire, ou champ de netteté, est la portion conique, d'angle $2\theta_c$, de l'espace objet dont l'objectif photographique donne une image nette.

Pour déterminer l'angle θ_c on utilise cette relation :

$$\tan \theta_c \approx \frac{l}{2f} \text{ soit } \theta_c \approx \text{Arctan} \frac{l}{2f}$$

D'après cette relation, on remarque que plus la distance focale de l'objectif sera petite, plus on aura un champ angulaire étendue.

Ainsi, on peut déterminer notre champ angulaire sur la verticale et l'horizontale. Ce champ est limité par la dimension maximale d du capteur, c'est-à-dire la diagonale du format rectangulaire.

Données :

CCD : $l = 23,6$ mm ; $L = 15,8$ mm ; $d = 28,4$ mm

Focal de l'objectif : $f = 10,5$ mm

	Focale	10,5
Champ angulaire (en degree)	Vertical	73,9
	horizontal	96,7
	diagonal	107,0

- **Détermination du champ angulaire expérimentalement**

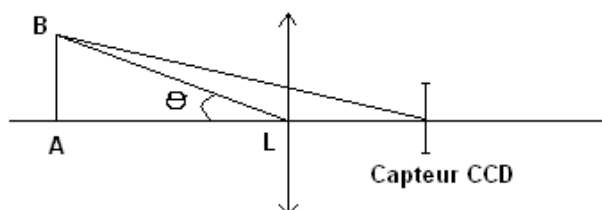


Figure 3 : Champ angulaire expérimental

Ici pour calculer l'angle θ , nous avons pris notre mire en photo et nous avons déterminé la distance entre la croix centrale de la mire et le point le plus éloigné visible de ce centre en horizontale.

Donnée :

LA = distance mire/objectif= 29,5 cm

AB= distance centre/point visible le plus éloigné= 43,7 cm

Champ angulaire = $2 \cdot \arctan\left(\frac{AB}{LA}\right) = 112^\circ$

On remarque que plus notre objet sera proche de notre objectif, plus notre champ angulaire par rapport à l'objet sera grand.

3.2.2. Diaphragme et nombre d'ouverture

- **Le principe du diaphragme**

Le diaphragme est le « régulateur de netteté » des prises de vues sur un appareil photographique. Il s'agit d'un « iris » mécanique composé de lamelles mobiles.

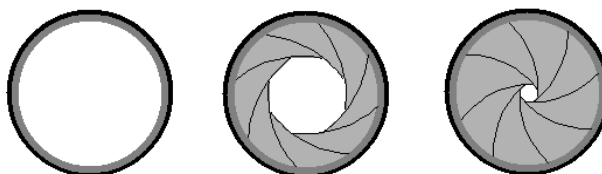


Figure 4 : Iris mécanique

Son ouverture variable constitue un régulateur de lumière. Le diaphragme est un moyen de gérer à la fois la profondeur de champ et la luminosité. Le diaphragme est donc un élément essentiel de la mise au point.

- **Importance de son ouverture**

L'importance de son ouverture est non négligeable : grand ouvert, la lumière est abondante mais les aberrations chromatiques y seront plus présentes, dans le cas opposé, faible ouverture, ces défauts seront atténués, mais la clarté s'en ressent et arrive les phénomènes de diffraction.

- **Indice d'ouverture**

L'ouverture d'un objectif dépend du diamètre des lentilles et de la focale ; le diaphragme est l'élément mécanique permettant de réduire cette ouverture.

L'indice d'ouverture N.O est le dénominateur de la fraction qui représente le diamètre de l'ouverture D en fonction de la focale f.

$$D=f/N.O$$

Pour notre objectif fish-eye de focale $f = 10,5$ mm, en l'ouvrant à $f / 2$, le diamètre d'ouverture du diaphragme D est alors de 5,25 mm.

Les valeurs d'ouverture sont conçues pour que la surface de l'ouverture (c'est-à-dire la quantité de lumière reçue) soit doublée lorsqu'on passe d'un indice au suivant. La progression de ces indices est donc géométrique de raison $\sqrt{2}$. En effet, si on multiplie un diamètre par $\sqrt{2}$, on multiplie la surface correspondante par 2.

La séquence standard des indices d'ouverture est donc la suivante :

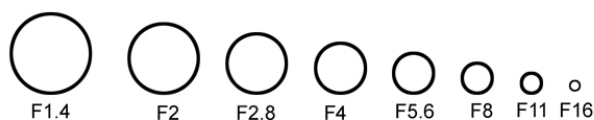


Figure 5 : Séquence standard des indices d'ouverture

Plus l'indice d'ouverture du diaphragme est grand, plus l'ouverture du diaphragme est petite, moins la lumière peut rentrer. D'un indice d'ouverture à l'autre, on divise ou multiplie par deux la quantité de lumière reçue. Par exemple, en passant de $f / 8$ à $f / 11$, on divise par deux la quantité de lumière reçue. En passant de $f / 11$ à $f / 8$, on laisse passer deux fois plus de lumière.

Notre objectif fish-eye n'a ici qu'un indice d'ouverture maximale de 2.8, ce qui correspond à un diamètre d'ouverture minimal de 3,75mm. Ceci est en parti dû au fait que, avec un indice d'ouverture plus important, le flux lumineux serait insuffisant. De plus, il faut éviter de travailler avec très faible indice d'ouverture lorsque l'on utilise une focale courte, en raison des aberrations géométriques.

3.2.3. *Profondeur de champ*

La profondeur de champ correspond à la zone de l'espace dans laquelle doit se trouver le sujet à photographier pour que l'on puisse en obtenir une image nette.

Voici un diagramme qui permet de bien comprendre que la profondeur de champ n'est autre que la zone dans laquelle un sujet est net :

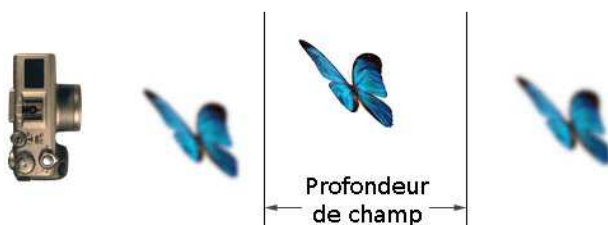
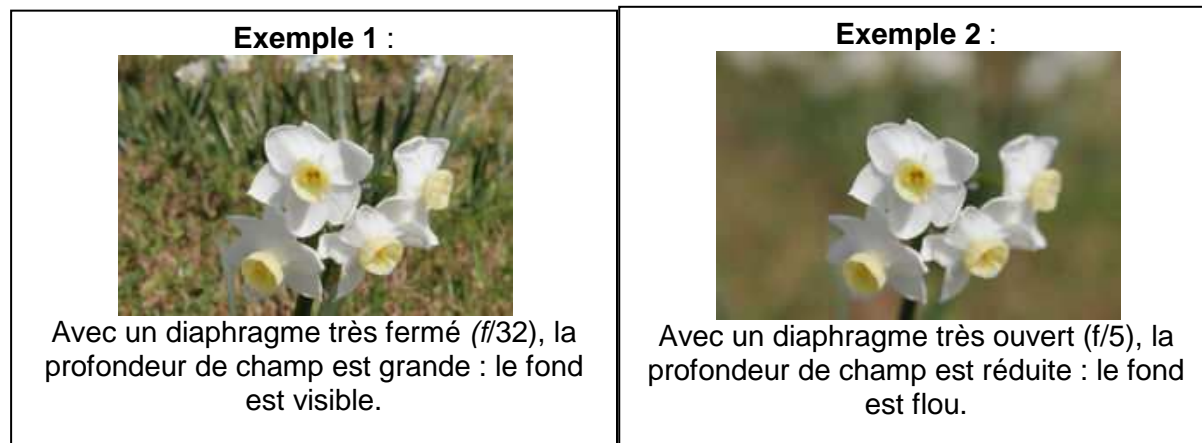


Figure 6 : Profondeur de champ

La profondeur de champ dépend, en fonction de l'appareil photo, de l'ouverture du diaphragme et de la distance entre l'appareil et le sujet. Plus l'ouverture est grande (= plus le chiffre f/N est petit), plus on s'approche du sujet, plus la profondeur de champ est réduite.

Voici deux exemples de photos prises à la même distance du sujet :



- **Détermination de notre profondeur de champs :**

L'objectif peut être assimilé à une seule lentille, ce qui simplifie les calculs.

La mise au point est faite sur P et la surface sensible se trouve donc en P'. La profondeur de champ est ici limitée par les deux points extrêmes A et R. Un objet, photographié entre les plans perpendiculaires à l'axe optique passant par A et R, aura donc une image nette.

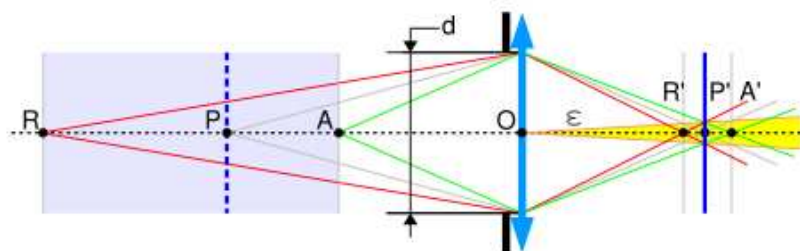


Figure 7 : Mise au point

Les rayons issus du point A, correspondant au point le plus proche de profondeur de champ convergent en A'. De même, les rayons issus du point R, correspondant au point le plus éloigné de la profondeur de champ, convergent vers R'. Cependant, ces rayons issus de ces deux points extrêmes sont interceptés par le capteur CCD et forment donc une tâche. Donc, on est obligé de permettre une certaine tolérance quant à la netteté de l'image. On va considérer que l'image est nette lorsque le diamètre de sa tâche est inférieur à une certaine tolérance c . On considère donc le diamètre du cercle de confusion c qui est le diamètre des cercles des points formant l'image pour lequel l'image est nette. Si l'image d'un point est un cercle qui est plus grand que le cercle de diffusion, l'image formée est floue. Si l'image d'un point est plus petite que le cercle de confusion, l'image est nette.

Par convention $c = 1/1730 * \sqrt{L^2 + l^2}$ (avec L =longueur et l =largeur du capteur CCD).

$$AN : c=1/1730*\sqrt{23,6^2 + 15,8^2}=0,016 \text{ mm}=16\mu\text{m}$$

- **Détermination de l'expression de a et r (respectivement les distances OA et OR) :**

D'après la relation Thalès :

$$\frac{c}{d} = \frac{a'-p'}{a'} = 1 - \frac{p'}{a'}$$

$$\frac{c}{d} = \frac{p'-r'}{r'} = \frac{p'}{r'} - 1$$

On a, d'après la relation de conjugaison :

$$\frac{p'+p}{p'p} = \frac{1}{f} \Leftrightarrow (p'+p)f-p'p=0 \Leftrightarrow p'(f-p)=-pf \Leftrightarrow p' = \frac{pf}{p-f}$$

De même, $a' = \frac{af}{a-f}$ et $r' = \frac{rf}{r-f}$

Ainsi, $\frac{c}{d} = 1 - \frac{pf}{p-f} \cdot \frac{a-f}{af} = \frac{af(p-f)-pf(a-f)}{af(a-f)} = \frac{a(p-f)-p(a-f)}{a(p-f)} = \frac{pf-af}{a(p-f)} = \frac{f(p-a)}{a(p-f)}$

Donc $\frac{c}{d} = \frac{f(p-a)}{a(p-f)}$ soit $a(1 + \frac{fd}{c(p-f)}) = \frac{fdp}{c(p-f)} \Leftrightarrow a = \frac{fdp}{c(p-f)+fd} \Leftrightarrow a = \frac{fp}{\frac{cp}{d} - \frac{cf}{d} + f}$

or $\frac{f}{d} = N.O = N$ (nombre d'ouverture du diaphragme).

D'où $a = \frac{fp}{\frac{cpN}{f} - cN + f} \Leftrightarrow a = \frac{f^2p}{cNp - cNf + f^2}$

De même pour r, on trouve $r = \frac{f^2p}{cNf - cNp + f^2}$

Influence de l'ouverture

La profondeur de champ varie donc avec l'ouverture ; plus l'ouverture est fermée, plus les rayons lumineux forment un angle aigu, et plus le cercle formé sur la pellicule est petit, donc net.

Influence de la focale sur la profondeur de champ

Étant donné une ouverture et un point de vue variable afin de garder un cadrage constant, quelque soit la focale, la profondeur de champ sera identique. Par contre étant donné une ouverture, et un point de vue constant, la profondeur de champs augmente quand la focale diminue.

Ainsi, cela explique le fait que l'on atteint rapidement avec l'objectif fish-eye à focale réduite, une profondeur de champ importante.

Pour simplifier, nos relations, on peut exprimer a et r en fonction de la distance hyperfocale H. La distance hyperfocale est la distance à partir de laquelle la netteté s'étend jusqu'à l'infini.

Ainsi en faisant tendre p à l'infini, on obtient par approximation :

$$H = \frac{f^2p}{cNp} = \frac{f^2}{cN}$$

Pour un nombre d'ouverture fixe, on a une distance hyperfocale fixe.

En divisant le numérateur et le dénominateur par (cN) , on obtient :

$$a = \frac{\frac{f^2 p}{cN}}{p-f + \frac{f^2}{cN}} \text{ soit } a = \frac{H}{(p-f)+H}$$

$$\text{De même, } r = \frac{H}{(f-p)+H}$$

Ainsi on a pu réaliser à partir de ces relations un tableau sous Excel selon la distance au sujet et l'ouverture du diaphragme. (Voir ANNEXE 1)

3.2.4. Détermination des centres optiques

- **Approche purement géométrique**

On considère l'axe (Ox) sur lequel se trouve S (Surface du dioptré), et C (Centre optique du dioptré). Sur (Ox) on place un point M se trouvant entre S et C . D est l'intersection de la droite (MD) avec le cercle décrit par le dioptré, avec (MD) perpendiculaire à l'axe (Ox) .

On appelle R la distance DC , E la distance SM , D la distance MD , A la distance MC et x est l'angle

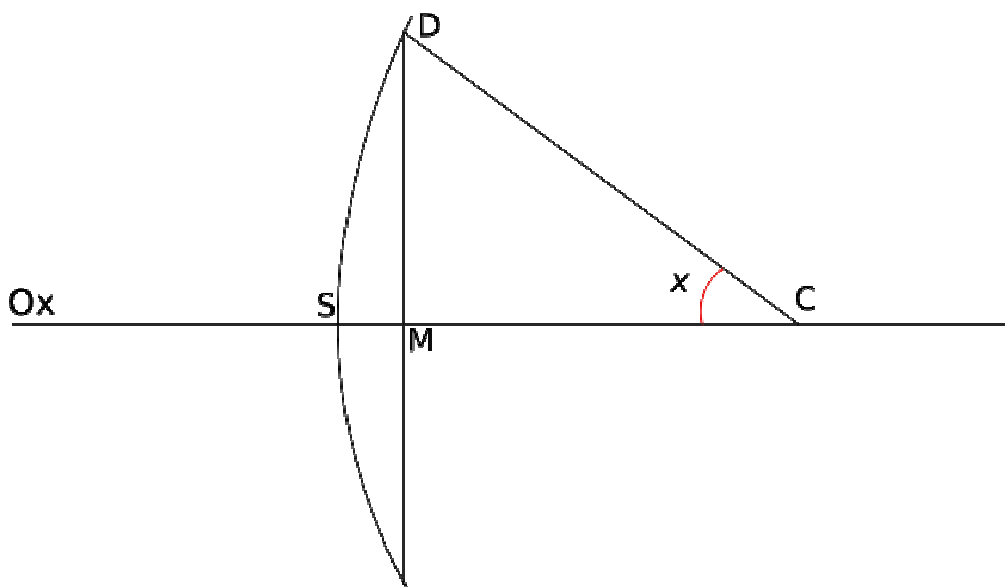


Figure 8 : Schéma d'un dioptré sphérique

On a alors les relations successives:

$$\cos(x) = \frac{A}{R}$$

$$\sin(x) = \frac{D}{R}$$

$$R = E + A = E + R * \cos(x)$$

$$R = \frac{E}{1 - \cos(x)}$$

$$x = \arcsin\left(\frac{D}{R}\right)$$

Il se pose un problème alors, dans ce cas on connaît la position de C, alors que c'est ce que nous cherchons à déterminer.

- **Approche empirique**

Afin de résoudre ce problème nous avons décidé de procéder de manière empirique. En effet si on suppose que l'on peut faire une estimation par itérations successives d'un R et d'un x. Bien sur il faut connaître D et E, pour cela on a imprimé un dessin à l'échelle (200 :63) grâce auquel on peut mesurer ces valeurs. On suppose donc une valeur de R légèrement supérieur à D, puis on calcul l'angle x correspondant à l'aide de la formule (2) et on vérifie par la suite si la valeur supposée de R est en accord avec ce qu'on obtiendra en remplaçant x dans la formule (1). Si ce n'est pas le cas on augmente encore R jusqu'à ce que l'on ait trouvé une bonne approximation.

- **Programme JAVA**

L'avantage de la machine sur l'homme, est qu'elle peut réaliser des tâches systématiques de manière bien plus rapide! Après avoir écrit un algorithme correct, et l'avoir vérifié en pratique. On a pu calculer les 20 centres optiques des dioptries différents.

- **Itération et précision**

L'itération utilisée pour R dans le programme est de 0.0005 unités. Cette précision semble superflue, mais elle permet d'obtenir à chaque fois une approximation entre le R expérimentale et le R attendu de plus de 99.99% dans le pire des cas, ce qui est plutôt intéressant, même si au final on ne récupère que les 2 premiers chiffres significatif à cause des mesures effectuées à la règle.

- **Influence des mesures.**

Les mesures de D et E sont effectuées à la règle, on a donc une erreur sur chacun d'eux de 0.5 mm. Le tableau que l'on obtiendrait avec une erreur de 0.5mm sur la mesure de D et de E est placé dans l'*ANNEXE 2*. Rien que par cet exemple on se rend compte de l'énorme importance des mesures. Pour R la différence entre la plus haute et la plus basse des valeurs est de 1.73cm et pour x la variation est de 4.41 degrés. En effet le cosinus et l'arc sinus sont très sensibles aux variations.

- **Le programme**

La programmation a été réalisée en JAVA (*voir ANNEXE 10*) parce que ce langage était adapté à nos besoins, et aussi parce que c'est un langage que nous connaissons bien. Sa portabilité est aussi un atout, en effet si l'on veut effectuer les calculs sur une autre machine, il n'y a rien à recoder.

Le programme n'est qu'une mise en machine des calculs précédents avec une boucle qui ne s'arrêtera que lorsque l'approximation du rapport entre le rayon proposé initialement et le R calculé après avoir obtenu x, est inférieure à 1. En effet le R proposé est supérieur au R calculé dans les premiers temps.

Les mesures insérés sont sans grandeurs, on aurait pu entrer indifféremment des mètres, centimètres ou millimètres, mais il est primordial de conserver la concordance entre les valeurs entrées.

Il faut remarquer que je n'ai pas ajouté de module pour calculer la position des centres optiques situé à gauche de S. Il est donc nécessaire d'entrer la distance sans prendre en compte les axes, puis de rajouter le signe si nécessaire.

Les valeurs de D et E sont modifiées à chaque fois dans le code même, et le résultat est obtenu par affichage dans un terminal.

- **Les Résultats**

Tableau des résultats (voir ANNEXE 3)

L'écart Inter-dioptre n'a aucune utilité, il permet juste de voir la distance qui sépare chaque dioptre du suivant.

Analyse des résultats

La plupart des dioptries ont des rayons relativement petits, entre 10 et -10. Les rayons de courbure ayant un écart à la base inférieur à 0.5 sont sans doute les rayons de courbures qui sont le plus sujet aux erreurs de mesures.

Les dioptries 5, 14 et 15 sont assimilables à des plans, en raison de leurs énormes rayons de courbure.

3.2.5. **Détermination de l'image réelle à travers l'ensemble des dioptries sphériques de l'objectif.**

Etude de l'objectif :

Il y a : - 5 lentilles convergentes, L10, L9, L6, L5, L3

- 5 lentilles divergentes, L7, L8, L4, L2, L1 (voir ANNEXE 4)

Il y a trois blocs de lentilles permettant de limiter la réfraction de la lumière. De plus, une lentille est d'une composition ED limitant les aberrations chromatiques.

Le diaphragme se situe entre les lentilles minces L7 et L8. L'ensemble des lentilles sont scindées, c'est à dire que, lors de la mise au point, aucune lentille n'est fixe.

- **But :**

Nous voulions pouvoir déterminer la position de l'image du CCD à travers l'ensemble des lentilles de l'objectif Fish Eye.

- **Première Méthode : Calcul de l'image par les dioptries sphériques :**

On utilise l'image du CCD à travers chaque lentille pour pouvoir trouver l'image finale du CCD. En premier lieu, nous avons déterminé le centre de chaque dioptre sphérique pour déterminer l'image du CCD, la méthode est expliquée précédemment.

Dans un premier temps, nous considérons que les indices de réfractations correspondent aux indices du verre et de l'air. Nous faisons abstraction de l'utilisation de la lentille ED pour réduire les aberrations chromatiques, de même pour le diaphragme.

Nous avons utilisé la loi de Conjugaison pour les dioptries sphériques et rempli une feuille de calcul Excel (*voir ANNEXE 5*).

Formule de conjugaison :

$$\frac{n_2}{FA_2} - \frac{n_1}{FA_2} = \frac{n_2 - n_1}{SC}$$

Sachant que le CCD est à 37 mm de sommet de la première lentille, nous calculons son image A1 à travers ce premier dioptre, puis nous calculons l'image A2 de A1 à travers le seconde dioptre et ainsi de suite jusqu'au vingtième dioptre pour trouver l'image réelle du CCD. Nous utilisons plusieurs formules pour limiter les erreurs dues à une entrée de donnée défectueuse.

Nous considérons l'axe des abscisses dirigés vers l'infini donc le dioptre 1 correspond à la lentille sortant de l'objectif (*voir ANNEXE 4*).

La valeur obtenue par ce calcul est une image trop près du dioptre pour qu'elle soit bonne (*voir ANNEXE 5*).

Les incertitudes de ce calcul sont dues aux calculs des centres et aux indices de réfraction.

Cependant, en faisant d'une manière empirique, nous avons déplacé la position du CCD de 7mm pour trouver une image réelle valable. Nous trouvons, alors, une image réelle situé à 430 cm de la dernière lentille. Sachant que le schéma correspond aux positions des lentilles quand l'objectif est à l'infini, nous pouvons dire alors que les centres sont approximatifs.

- **Deuxième méthode : Calcul de l'image par les lentilles**

Nous calculons la vergence des dioptries grâce aux centres optiques calculés. Puis, nous calculons l'image de l'objet à travers chaque lentille jusqu'à la dernière image. (*Voir ANNEXE 6*).

Cependant, l'exactitude des résultats n'est pas juste. Puis nous ne retrouvons pas la même image trouvée par la méthode 1. Donc il y a trop d'approximation par Excel et l'incertitude des centres est amplifiée.

On trouve comme focale équivalente pour l'ensemble des lentilles 6.10, car la vergence des lentilles centrées sur un même axe s'ajoutent et que la focale est l'inverse de la vergence. Donc nous avons une erreur de 4,4. (*Voir ANNEXE 7*)

Vergence d'une lentille :

$$\phi = (n_2 - 1) \left(\frac{1}{SC1} - \frac{1}{SC2} \right)$$

- **Troisième méthode : Amélioration de la vergence des lentilles**

Pour pouvoir améliorer la vergence des lentilles, nous trouvons un facteur commun au vergence de chaque lentille permettant de trouver une image réelle par le système optique tendant vers l'infini.

Nous mettons en place une boucle sous Maple permettant ainsi de trouver le meilleur facteur (*voir ANNEXE 11*).

Nous trouvons alors une focale équivalente supérieur à 10,5 puisque elle est de 15. Cependant cela nous permet de trouver l'ensemble des focales des lentilles de l'objectif.

3.3. Distorsions et aberrations

3.3.1. Observations du phénomène de distorsion avec notre objectif fish-eye



Figure 9 Photographie avec objectif usuel



Figure 10 : Photographie prise avec l'objectif fish-eye

Ces deux photos ont été prises au même endroit (c'est-à-dire que nous n'avons pas modifié la place du pied de l'appareil). Notre champ de vision est alors beaucoup plus important avec l'objectif fish-eye. Cependant on remarque clairement un phénomène de distorsion en tonneau ; les lignes convergent vers le centre de l'image.

Après une explication de ce phénomène de distorsion, nous verrons dans la suite de cette partie comment corriger ce phénomène.

3.3.2. Les aberrations causées par l'objectif fish-eye.

• Les distorsions :

On peut tout d'abord rappeler que la distorsion n'est pas réellement une aberration. En effet, on peut remarquer que l'image d'un point demeure un point mais la position de ce point image diffère par rapport à l'image prévue par les approximations de Gauss. La cause principale de cette distorsion réside dans le fait que l'objectif ne respecte pas les proportions du sujet photographié entre la partie centrale et les parties périphériques de l'image.

Il existe deux types de distorsion :

- **La distorsion en barillet** : l'objet plan apparaît sur la photographie légèrement bombée. En réalité, l'objectif produit une image plus grande de la partie centrale. Les lignes droites sont donc incurvées vers l'extérieur.

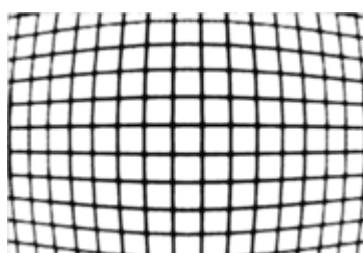


Figure 11 : Distorsion en barillet

- **La distorsion en croissant** : cette fois-ci l'objet plan apparaît sur la photo en creux alors que l'objectif produit une image plus petite de la partie centrale. A nouveau, on peut remarquer que les lignes droites sont incurvées mais cette fois-ci vers l'intérieur.

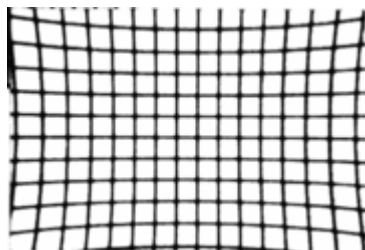


Figure 12 : Distorsion en croissant

Cette distorsion, qu'elle soit en barillet ou en croissant peut se mesurer et possède pour unité le pourcentage. On peut tout d'abord signaler qu'une distorsion en barillet aura toujours un pourcentage positif contrairement à une distorsion en croissant qui aura, quant à elle, un pourcentage négatif.

Certaines revues spécialisées ont classées la distorsion selon son pourcentage. Ainsi si la distorsion (qu'elle soit positive ou négative) est inférieure à 0.3%, elle est considérée comme négligeable. Cette distorsion sera caractérisée de sensible si elle se situe entre 0.3 et 0.4%, de sensible entre 0.5 et 0.6% et enfin de très sensible si la distorsion est de l'ordre de 0.7 à 0.9%. La distorsion sera caractérisée de gênante si elle dépasse 1%.

Dans le cas des objectifs fish-eye, la distorsion est en moyenne de l'ordre de 16%. Cependant, il est important de signaler que cette distorsion est indispensable pour faire rentrer un angle de visé de 180° sur une photo.

On vient donc de se rendre compte que les distorsions peuvent être (dans le cas de l'utilisation d'un objectif fish-eye) importantes. C'est pourquoi, un traitement numérique de cette distorsion peut être effectué. Ainsi, un logiciel tel que le logiciel DXO produit une distorsion contraire à celle actuellement subie par la photo afin de rétablir un certain « équilibre ». Cette correction entraîne un léger recadrage de la photo dans la mesure où elle consiste à repousser vers les bords de l'image des éléments de la photo qui s'en écartaient légèrement. Ce type de correction possède toutefois un inconvénient. En effet, il diminue légèrement la résolution de la photo même si les logiciels actuels ne diminuent que très légèrement cette résolution.



Figure 13 : Image déformée



Figure 14 : Image redressée par DXO

• **Les aberrations chromatiques :**

Venons en maintenant au phénomène d'aberrations chromatiques. La principale cause de cette aberration est la variation de l'indice de réfraction composant les différentes lentilles de l'objectif en fonction de la longueur d'onde de la lumière traversant l'objectif. La distance focale devient alors variable selon la lentille et il est dès lors impossible d'effectuer la mise au point pour toutes les couleurs du spectre.

A titre d'exemple, si la mise au point est effectuée sur le bleu, le rouge sera alors flou. Ainsi l'image d'un objet blanc donnera une irisation rougeâtre sur les bords.



Figure 15 : Exemples d'aberrations chromatiques

Il existe deux types d'aberrations chromatiques. L'aberration chromatique longitudinale qui a lieu quand l'objectif positionne l'image d'un objet sur différents plans de netteté selon la longueur d'onde de la lumière (donc selon la couleur). Par ailleurs, il existe également l'aberration chromatique latérale qui a lieu quand des distorsions optiques induisent des plans de mise au point différents pour un même objet selon la longueur d'onde de la lumière.

Dans le domaine de la photographie, les aberrations chromatiques sont des problèmes récurrents qui peuvent se résoudre de plusieurs manières :

- Utiliser un simple pare-soleil sur l'objectif afin de limiter les rayons parasites.
- Avoir recours à un filtre à UV ou à un filtre polarisant dans le même but que précédemment.
- Utiliser un verre optique de grande qualité afin de réduire l'indice de réfraction sur le spectre visible.

Enfin, un des logiciels existent désormais et sont capables d'annihiler presque totalement ces aberrations qui, même si elles sont le plus souvent légères, peuvent toutefois être gênante.



Figure 16 Photographie sans correction



Figure 17 : Photographie avec correction

- **Le vignettage :**

Ce phénomène relativement commun dans le domaine de la photographie correspond à l'obscurcissement plus ou moins marqué de la périphérie de la photo. Ce phénomène peut être dû à une insuffisance de l'objectif ou à l'utilisation d'un objectif dont le cercle image ne couvre pas la totalité du format du film. Le vignettage est principalement présent à pleine ouverture du diaphragme ou dans le cas d'un zoom. Dans ce dernier cas, le vignettage sera plus intense aux focales les plus courtes.

Même si tous les types d'objectifs souffrent de ce phénomène, il est important de signaler que celui-ci est particulièrement présent dans le cas des objectifs grand angle et dans le cas des zooms.

A l'image de la distorsion, le vignettage se mesure également et possède l'indice de lamination (IL) comme unité de mesure. La valeur calculée correspond à la différence entre la quantité de lumière reçue par les bords et celle reçue au centre de la photo. Le vignettage est considéré comme insensible s'il est inférieur à 0.1IL, comme visible à partir de 0.3IL et comme gênant s'il est supérieur à 1IL.

Pour corriger ce vignettage, il faut fermer le diaphragme.



Figure 18 : Vignettage sur une photographie

Toutes les aberrations décrites précédemment peuvent également être créées volontairement dans le but de créer un effet de style. Par exemple de nombreuses vidéos de skateboard sont filmées avec des distorsions importantes. On trouve également des photographies présentant des vignettages conséquents.

3.3.3. Traitement de l'image

- **Choix de la mire**

Nous sommes arrivés à plusieurs solutions techniques concernant le choix et l'utilisation de la mire. Sur la composition de la mire, le choix a été rapidement fait sur une multitude de petite croix de faible épaisseur pour être le plus précis possible sur la position de leur centre. Nous avons pensé tout d'abord à imprimer la mire sur des feuilles de papier, seulement il nous fallait des feuilles de grandes tailles étant donné l'angle de vue de l'appareil et sachant qu'en mettant l'appareil à 20 cm de l'écran, la surface visible est quasiment d'un mètre carré. S'est posé ensuite le problème de l'assemblage des feuilles, il faut que les croix aient toutes le même espacement ce qui implique une extrême minutie lors de l'assemblage des feuilles.

C'est alors qu'est venu l'idée d'utiliser un rétroprojecteur, solution qui comporte également des inconvénients mais qui a pour principal avantage de nous permettre de modifier la mire en temps réel si besoin (modifier la taille, la couleur, l'espacement des croix). Le rétroprojecteur a également apporté son lot de problème puisqu'alors lorsque l'on veut prendre une photo de la mire sur l'écran, une partie est cachée par l'ombre de l'appareil (**Voir Annexe 12**). De plus, surélever le rétroprojecteur par rapport à l'appareil photo a pour effet d'accentuer la distorsion. On a donc envisagé de prendre la photo de l'autre côté de l'écran (**Voir Annexe13**), c'est-à-dire de mettre l'objectif fish-eye en face du rétroprojecteur en intercalant l'écran entre les deux. Là encore, on s'est heurté à un problème technique puisqu'il faut que l'écran soit assez fin et que la lumière puisse passer au travers pour nous permettre de photographier la mire. On a d'abord réalisé quelques tests avec des feuilles de papier. Ces tests se sont avérés concluants seulement là encore il nous fallait de grandes feuilles de papier.

Pour les premiers tests photographiques on a opté pour projeter la mire sur le mur jaune de la salle de physique. Ces tests nous ont permis d'optimiser la mire et de changer quelques réglages au niveau de l'appareil photo. L'ombre sur les photos étant relativement gênante on est revenu sur l'idée de placer l'écran entre l'appareil et le rétroprojecteur. Il nous faut donc régler le problème de l'écran.

Au final, nous avons utilisé une simple mire en dépoli de 49*49 cm avec un espacement entre les croix de 1 cm que nous avons déposé sur une fenêtre.

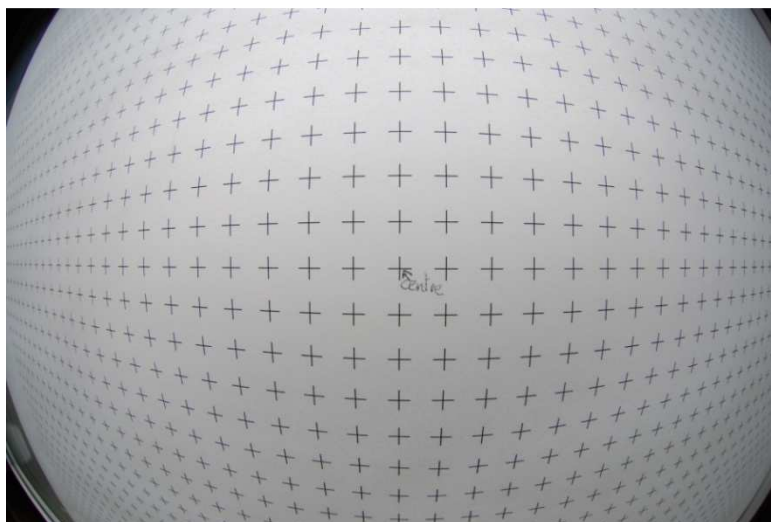


Figure 19 : Photographie de notre mire avec l'objectif fish-eye

- **Observation de la mire modifiée avec un logiciel pour réparer le phénomène de distorsion**

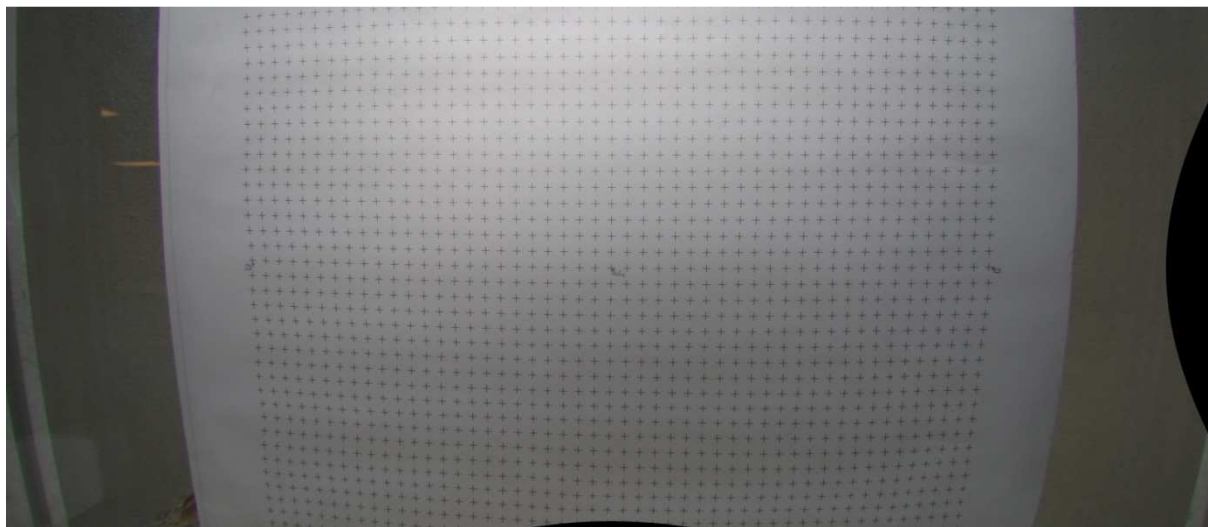


Figure 20 : Image redressée par le logiciel Iris

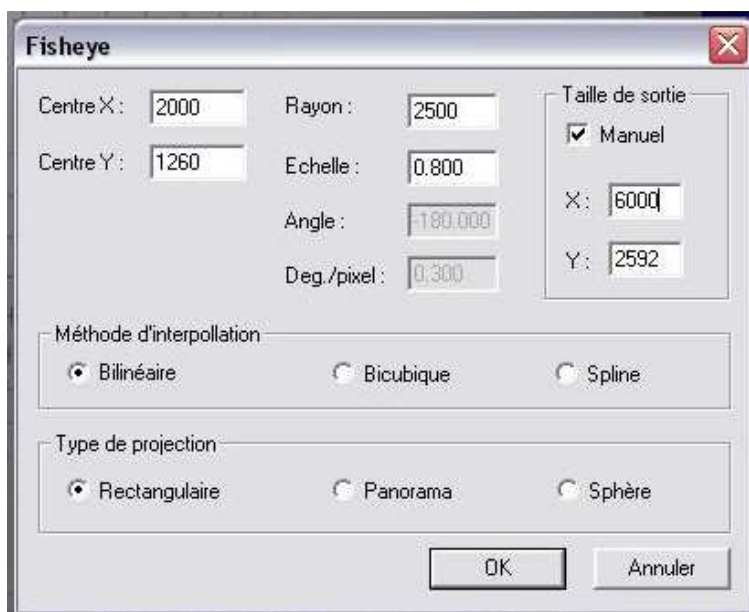


Figure 21 : Paramètres utilisés

Ce logiciel utilise une fonction de redressement qui nous ait inconnue. En rentrant, ces paramètres nous avons pu obtenir au mieux cette mire modifiée. Il nous permet ainsi d'avoir un aperçu de la correction de la mire. Cependant celle-ci n'est pas encore tout à fait bien corrigée.

- **Détermination d'une équation pour corriger le phénomène de distorsion observée**

Après avoir paramétré l'appareil photo et pris les photos correspondantes, on cherche à déterminer la fonction mathématique caractérisant la distorsion liée à l'objectif. Pour cela on prend une photo de notre mire et on note la position du centre des croix. D'abord la position en pixels puis la position en centimètres. Ce traitement est assez long et fastidieux à faire à la main. On a commencé manuellement à l'aide du logiciel The Gimp. La fonction mathématique cherchée est un polynôme qui nous donnerait une relation entre la

position en pixels et la position en centimètres. On a donc rentré dans un fichier Excel la position en X et Y du centre de certaines croix d'abord avec une référence en haut à gauche de la photo puis par un traitement, on a réalisé un second tableau en prenant pour référence la croix centrale ce qui est la solution la plus logique pour rentrer les distances en centimètres. On a ainsi repéré 89 croix.

D'après ce que Mr Honoré nous a dit, on sait que la fonction mathématique (reliant la position en centimètre sur la mire et les positions en pixels sur la photo) est un polynôme d'ordre 3, ce qui nous donne comme modèle :

$$X = ax^3 + by^3 + cx^2y + dxy^2 + exy + fx^2 + gy^2 + hx + iy + j$$

$$Y = a'x^3 + b'y^3 + c'x^2y + d'xy^2 + e'xy + f'x^2 + g'y^2 + h'x + i'y + j'$$

Avec X et Y la position en cm, x et y la position en pixels et les coefficients de a à j et a' à j', nos inconnues à déterminer.

Prenons un exemple simple : la croix centrale. Etant donné que c'est la référence on a X=0 et Y=0 après le traitement d'image, on a déterminé x= 1998 et y= 1334 ce qui donne :

$$0 = a1998^3 + b1334^3 + c1998^2 \cdot 1334 + d1998 \cdot 1334^2 + e1998 \cdot 1334 + f1998^2 + g1334^2 + h1998 + i1334 + j$$

$$0 = a'1998^3 + b'1334^3 + c'1998^2 \cdot 1334 + d'1998 \cdot 1334^2 + e'1998 \cdot 1334 + f'1998^2 + g'1334^2 + h'1998 + i'1334 + j'$$

On a donc 10 inconnues pour la position en X et 10 en Y, il faut alors résoudre un système de 10 équations à 10 inconnues pour la position en X et celle en Y, ce qui serait très long à la main, d'autant plus qu'il faut vérifier que l'équation obtenue corresponde à tous les points de la photo. On a alors réalisé la résolution à l'aide de Maple qui a pu nous donner non sans mal une valeur pour chacune de nos inconnues. Malheureusement lors de la vérification, les équations trouvées ne marchaient pas pour tous les points.

C'est alors qu'est venue l'idée de travailler non plus en coordonnées cartésiennes, mais en polaires. En regardant de plus près il semblait que tous les points situés sur un même cercle ayant pour centre la croix centrale subissent la même distorsion. On a donc réalisé une petite expérience pour vérifier cette hypothèse. On a pris en photo avec l'objectif fish-eye une mire réalisée à partir de cercles concentriques et notre hypothèse s'est trouvée vérifiée. Cette observation va grandement simplifier le mécanisme de traitement pour trouver notre fameuse fonction puisque de 2 facteurs x et y on en aura plus qu'un seul : r, qui correspond à la distance entre la croix étudiée et la croix centrale (l'expérience ayant démontré que θ n'avait aucune influence quant à la distorsion). A notre tableau Excel, on a rajouté une colonne r suivant la formule $r = \sqrt{(x^2 + y^2)}$ pour les croix sur la mire et une colonne R pour les croix sur la photo. Le modèle de l'équation cherchée est alors devenu :

$$R = a \cdot r^3 + b \cdot r^2 + c \cdot r + d$$

Soit un passage de 20 inconnues à 4. De plus la résolution s'en est également trouvée simplifiée puisqu'en rangeant nos tableaux par r et R croissant et en rentrant leurs différentes valeurs dans Synchronie, le logiciel est capable de nous donner une équation approchée de la droite obtenue.

On a effectué deux calculs de modèles. Le premier comportant des erreurs de recopie et quelques approximations incorrect, on a modifié certains points pour affiner le modèle. On a donc obtenu les résultats suivants : (*voir ANNEXE 9*)

$$a = 4,56 \cdot 10^{-9} \quad b = -5,703 \cdot 10^{-6} \quad c = 1,254 \cdot 10^{-2} \quad d = -0,2501$$

Bien que les coefficients a et b soient minimes, il ne faut pas les négliger. Par exemple, en prenant un point situé à r=1000 pixels du centre, on a $r^3 = 10^9$ ainsi le facteur multiplicatif du coefficient a est compensé. De même pour b.

- **Application sur la mire**

Une fois l'équation déterminée, on a vérifié la cohérence de nos résultats. Pour cela on a décidé de redresser les points de la mire dont on connaissait la position exacte. Une fois le passage de cartésien à polaire on applique donc la formule de redressement à tous les points, puis on repasse en coordonnées cartésiennes. Pour vérifier la vraisemblance de nos résultats on a superposé sur un graphique les points originels et les points obtenus. Voici le résultat :

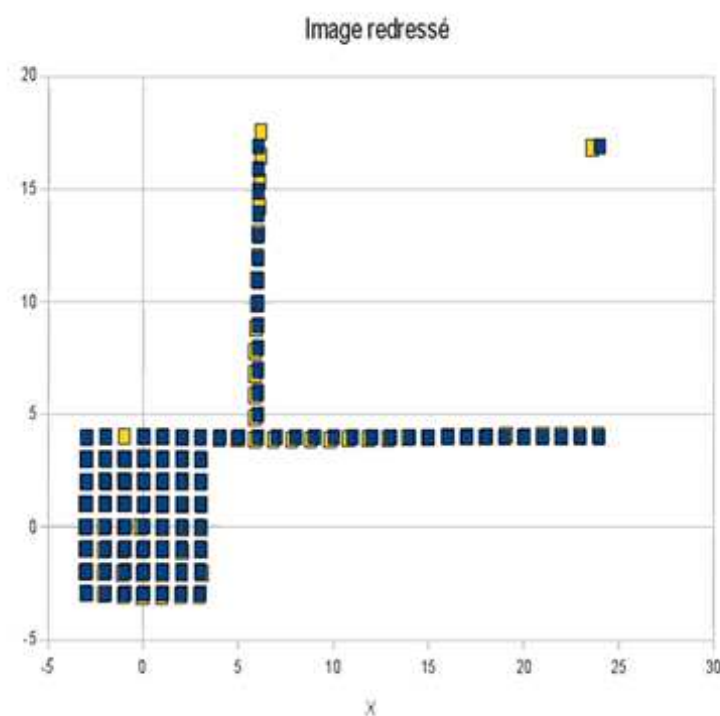


Figure 22 : En bleu les positions réelles, en jaune les positions obtenues.

- **Application sur une photographie**

Nous avons ensuite tenté de procéder à la modification d'une image réelle. Pour cela nous avons pris en photo une image que nous avons découpée en quatre grâce à un logiciel de traitement d'images. Nous avons ensuite passé les images en noir et blanc. Cette opération a été réalisée afin de pouvoir utiliser un programme qui permet de récupérer les coordonnées X et Y ainsi que la luminosité de chaque point. Ensuite nous avons effectué le même traitement que sur la mire. Cette opération a pris énormément de temps en effet nos images faisaient 600*402px, soit 241200 points. Malheureusement le traitement de l'image n'a pas encore pu être terminé. Même si il y a eu un résultat, celui-ci n'a pas été probant.

4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

En conclusion, il apparaît important de rappeler que l'objectif fish-eye est un objectif qui est encore relativement récent et donc que beaucoup d'améliorations vont être apportées. Toutes ces améliorations ayant pour but de gommer au maximum toutes les aberrations fréquemment présentes dans le domaine de la photographie et de la prise d'image en général. Ainsi, on peut signaler que l'objectif fish-eye mis à notre disposition est l'un des plus récents et des plus performants sur le marché. C'est pourquoi des aberrations telles que le vignetage ou les aberrations chromatiques y sont presque totalement absentes. En outre, durant ce semestre, notre attention a principalement été fixée sur la relation mathématique permettant de corriger la distorsion. Cette relation faisant intervenir de nombreux calculs, il ne nous a pas été possible de la tester sur une photographie d'objets réels. Ainsi, nous sommes uniquement parvenus à régler la distorsion sur une mire quadrillée. Malheureusement nous n'avons pas eu le temps de réussir à avoir un résultat pour une image en noir et blanc. Découvrir si la formule est véritablement efficace dans tous les cas, ou ne correspond qu'à des cas particuliers constitué d'objets ponctuels.

On sait en revanche que lorsque l'on corrige la distorsion, on effectue un déplacement de pixel ; or au bord nous avons des espacements entre les pixels beaucoup plus importants qu'au centre. Il serait donc intéressant de trouver un moyen d'obturer ces espacements par une méthode d'interpolation.

A titre d'exemple, il pourrait aussi être intéressant de se procurer un logiciel de traitement d'image tel que DXO, puis de corriger la distorsion avec ce logiciel et ainsi comparer la qualité des réglages obtenus, selon que l'on utilise DXO ou notre formule mathématique.

De plus, on pourrait étudier un logiciel tel que Google street qui utilise des objectifs fish-eye et corrige ensuite la distorsion avant de mettre des photos du monde entier en ligne, ce qui permet de découvrir des monuments célèbres en restant simplement devant son ordinateur. Il reste encore à trouver le moyen pour « assembler » toutes les images. Nous n'avons eu le temps que de faire la supposition, que c'est par une étude statistique de corrélation entre différents paquets de points sur chaque image.

Enfin, on peut rappeler que les objectifs fish-eye sont également présents dans le domaine de la vidéo. Ainsi, de nombreuses vidéos de snowboard et de skateboard sont prises à l'aide de ce type d'objectif. Cela pourrait donc être intéressant de comparer les similitudes et les différences existant entre les objectifs fish-eye pour appareils photo et pour caméras.

Conclusions sur l'apport personnel de cette U.V. projet

Ce projet nous a permis, en premier lieu, d'élargir nos connaissances sur la photographie, n'étant pas des photographes très expérimenté au sein de notre groupe. Nous avons eu cependant l'impression que ce projet ne se référait pas aux enseignements reçu dans le sens où, nous ne nous sommes quasiment jamais référer à nos cours. Mais le travail de recherches que nous avons effectué est au final ce que nous seront amené à réaliser plus tard. En effet, nous serons perpétuellement confrontés à des problèmes exigeant une part de recherche. Le travail de groupe fut aussi une bonne expérience ; écouter les avis de ses équipiers, défendre ses idées, répartir les tâches tout en gardant un esprit d'équipe est une fois de plus un « aperçu » de notre métier futur.

5. BIBLIOGRAPHIE

- **LIVRE :**

José-Philippe Pérez, "Optique, fondement et applications", *Dunod*, 2004.

- **LIEN INTERNET :**

www.futura-sciences.com

<http://membres.lycos.fr/tpoptique/SiteTP/photo/PHOTO.htm>

[http://fr.wikipedia.org/wiki/Diaphragme_\(photographie\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/Diaphragme_(photographie))

<http://www.pixelvalley.com/appareil-numerique/diaphragme-obturateur.php>

<http://homepage.mac.com/pbize1/Gear/YeuxdePoisson7.html>

6. ANNEXES (NON OBLIGATOIRE)

6.1. Documentations

Diaphragme choisi	1,4			2			2,8		
distance au sujet (distance de mise au point en m)	Limite de netteté acceptable la plus proche	Limite de netteté acceptable la plus lointaine	Profondeur de champ totale	Limite de netteté acceptable la plus proche	Limite de netteté acceptable la plus lointaine	Profondeur de champ totale	Limite de netteté acceptable la plus proche	Limite de netteté acceptable la plus lointaine	Profondeur de champ totale
0,05	0,05	0,05	0	0,05	0,05	0	0,05	0,05	0
0,1	0,1	0,1	0	0,1	0,1	0,01	0,1	0,1	0,01
0,14	0,14	0,14	0,01	0,13	0,15	0,01	0,13	0,15	0,01
0,2	0,19	0,21	0,02	0,19	0,21	0,02	0,19	0,22	0,03
0,3	0,28	0,32	0,04	0,28	0,33	0,05	0,27	0,34	0,07
0,35	0,33	0,38	0,05	0,32	0,39	0,07	0,31	0,41	0,1
0,4	0,37	0,43	0,06	0,36	0,45	0,09	0,35	0,48	0,13
0,45	0,41	0,49	0,08	0,4	0,52	0,12	0,38	0,55	0,17
0,5	0,45	0,56	0,1	0,44	0,58	0,15	0,42	0,62	0,21
0,55	0,5	0,62	0,12	0,48	0,65	0,18	0,45	0,7	0,25
0,6	0,54	0,68	0,15	0,51	0,72	0,21	0,48	0,79	0,3
0,8	0,69	0,95	0,26	0,65	1,04	0,39	0,61	1,18	0,57
1	0,83	1,25	0,42	0,78	1,4	0,63	0,71	1,67	0,96
2	1,42	3,36	1,93	1,27	4,73	3,47	1,11	10,44	9,33
10	3,3 infini	infini	infini	2,56 infini	infini	infini	1,98 infini	infini	infini
50	4,48 infini	infini	infini	3,22 infini	infini	infini	2,35 infini	infini	infini
100	4,69 infini	infini	infini	3,33 infini	infini	infini	2,4 infini	infini	infini
à l'infini (hyperfocale)	4,92 infini	infini	infini	3,45 infini	infini	infini	2,46 infini	infini	infini

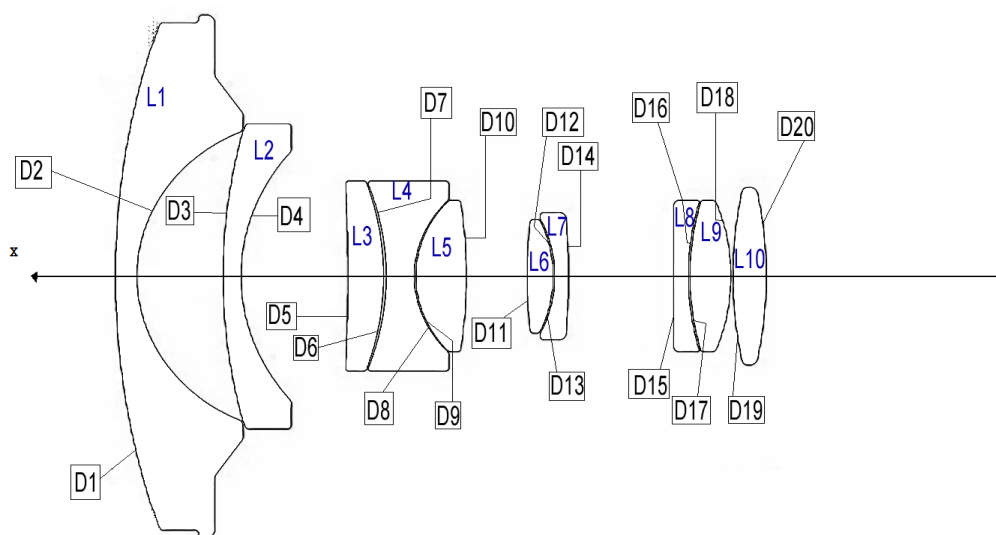
ANNEXE 1 : Profondeur de champ obtenu selon la distance au sujet et l'ouverture du diaphragme-Tableau réalisé sous Excel

D(cm)0	E(cm)	R(cm)	x(degrés)
3	0.6	7.80	22.61
3	0.55	8.45	20.77
3	0.65	7.24	24.44
3.05	0.6	8.05	22.25
3.05	0.55	8.73	20.44
3.05	0.65	7.48	24.06
2.95	0.6	7.55	22.99
2.95	0.55	8.18	21.12
2.95	0.65	7.02	24.85

ANNEXE 2 : Variations de l'angle et du rayon en fonction de E et de D mesuré.

Dioptre	Valeur mesurée			Valeur Calculée	
	Ecart à la base	Hauteur	Ecart interDioptre	Rayon	Theta (degrés)
1	1,4	8,1	0,6	24,13	19,61
2	3,2	4,8	2,6	5,2	67,36
3	0,7	4,9	0,5	17,5	16,26
4	1,5	4,1	3,3	6,35	40,19
5	0,1	3,1	1	48,1	3,69
6	-0,6	3,1	0,1	-8,31	21,91
7	-0,6	3,1	0,7	-8,31	22,91
8	1,1	2,6	0,1	3,62	45,86
9	1	2,5	1,4	3,63	43,6
10	-0,2	2,5	1,9	15,75	9,15
11	0,2	1,8	0,7	8,2	12,67
12	-0,4	1,8	0,1	-4,25	25,06
13	-0,4	1,9	0,3	-4,71	23,78
14	-0,05	2	3,2	-40,03	2,86
15	0	2,5	0,3	NA	NA
16	0,3	2,5	0,1	10,56	13,69
17	0,4	2,5	1,2	8,01	18,18
18	-0,5	2,5	0,2	-6,5	22,61
19	0,3	2,8	0,9	13,21	12,23
20	-0,4	2,8		-10	16,26

ANNEXE 3 : Tableau de calcul du rayon des différents dioptres.



ANNEXE 4 : Schéma représentatif de l'ensemble des lentilles composant l'objectif Fish Eye

Vergence du dioptré par la focale objet, dioptrie	Distance entre les 2 sommets du dioptré, "ni", cm	Agrandissement	Distance focale objet du Dioptré	Distance focale image du Dioptré	Distance foyer image/image	Vérification du centre	Calcul de l'image avec la vergence du dioptré
0,021429637	0,6	-3,58693085	-70,79634621	46,66434621	502,7256488	-24,132	431,9293026
-0,099442351	2,6	-9,582366273	10,05607766	-15,25647766	-88,82747113	-5,2004	-78,77139348
0,029550857	0,5	0,240960429	-51,33996597	33,83996597	66,41154433	-17,5	15,07157837
-0,08143937	3,3	7,457356036	12,27907337	-18,62907337	29,4484597	-6,35	41,72753306
plan	1	10,78374208	plan	-154696,9873	plan	plan	
0,062246028	0,1	2,139228468	-16,06528213	24,37328213	17,7858698	8,308	1,72058767
-0,062246028	0,7	0,470162586	24,37328213	-16,06528213	-23,05304202	8,308	1,320240108
-0,142856354	0,1	2,854574743	7,000038674	-10,620038674	-4,449154692	-3,62	2,550883983
0,14265931	1,4	0,344232977	-10,63470724	7,009707236	12,09044267	-3,625	1,455735433
0,032830117	1,9	2,093146642	-30,45983679	46,21183679	34,64726905	15,752	4,187432254
0,063065854	0,7	0,299239359	-24,0564412	15,8564412	28,99154674	-8,2	4,93510554
0,12168	0,1	0,165722959	-8,218277449	12,46827745	19,78884127	4,25	11,57056382
-0,109737931	0,3	5,48936113	13,82511941	-9,112619407	92,19964381	4,7125	106,0247632
plan	3,2	2,30171378	plan	234696,9873	plan	plan	
plan	0,3	0,434458884	plan	-154696,9873	plan	plan	
-0,048971591	0,1	3,652857542	20,42000232	-30,98000232	-2,234232546	-10,56	18,18576977
0,064538432	1,2	0,219871659	-23,50754362	15,49464362	31,16063279	-8,0129	7,653089175
0,07956	0,2	-0,612381448	-12,56913022	19,06913022	36,71168949	6,5	24,14255928
0,039147615	0,9	1,448338284	-38,75434002	25,54434002	-20,85746926	-13,21	-59,61180928
0,051714		4,359586306	-19,33712341	29,33712341	-6,89205452	10	-26,22917793

Dioptré	Indice de réfraction du milieu, n	Distance objet/ sommet du dioptré ni: SA cm	Distance sommet/ centre du dioptré "ni" cm	Distance sommet/ image, SA' à travers le dioptré "ni", cm	Vergence du dioptré par SC, dioptrie	Vergence du dioptré par la focale image, dioptrie
1	1,51714	-79,37139348	-24,132	431,9293026	0,021429637	0,021429637
2	1	12,47157837	-5,2004	-78,77139348	-0,099442351	-0,099442351
3	1,51714	41,22753306	-17,5	15,07157837	0,029550857	0,029550857
4	1	8,489135989	-6,35	41,72753306	-0,08143937	-0,08143937
5	1,51714	0,72058767	plan	11,78913599	plan	plan
6	1	1,220240108	8,308	1,72058767	0,062246028	0,062246028
7	1,51714	1,850883983	8,308	1,320240108	-0,062246028	-0,062246028
8	1	1,355735433	-3,62	2,550883983	-0,142856354	-0,142856354
9	1,51714	2,787432254	-3,625	1,455735433	0,14265931	0,14265931
10	1	3,03510554	15,752	4,187432254	0,032830117	0,032830117
11	1,51714	10,87056382	-8,2	4,93510554	0,063065854	0,063065854
12	1	105,9247632	4,25	11,57056382	0,12168	0,12168
13	1,51714	12,73092177	4,7125	106,0247632	-0,109737931	-0,109737931
14	1	8,589135989	plan	13,03092177	plan	plan
15	1,51714	17,88576977	plan	11,78913599	plan	plan
16	1	7,553089175	-10,56	18,18576977	-0,048971591	-0,048971591
17	1,51714	22,94255928	-8,0129	7,653089175	0,064538432	0,064538432
18	1	-59,81180928	6,5	24,14255928	0,07956	0,07956
19	1,51714	-27,12917793	-13,21	-59,61180928	0,039147615	0,039147615
20	1	-9,12777778	10	-26,22917793	0,051714	0,051714

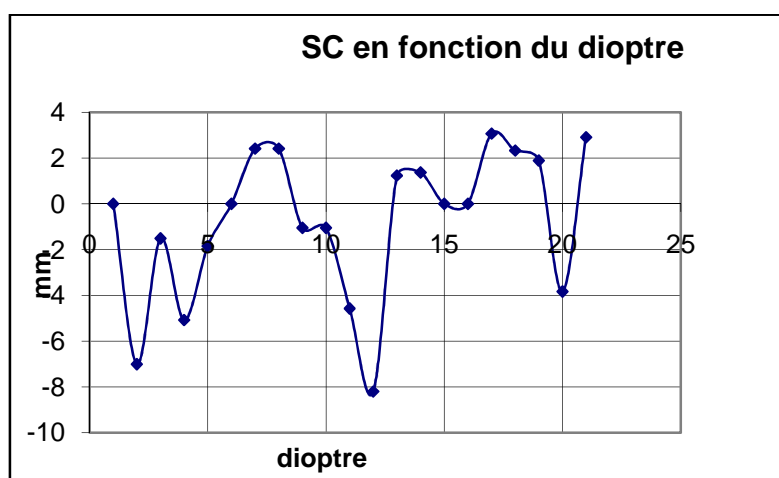
ANNEXE 5 : Tableaux récapitulatifs des calculs réalisés lors de la méthode 1- Calcul de l'image avec les dioptrés

Numéro lentille	Vergence de la lentille équivalente	Positionnement de l'objet	Positionnement de l'image	Foyer objet de la lentille	Foyer image de la lentille	Distance entre les 2 sommets du dioptré, "ni"	Agrandissement	Vergence des lentilles avec le nouveau facteur calculé avec Maple
1	-0,078012714	-3,999143264	-3,048164618	12,81842348	-12,81842348	2,6	0,762204407	-0,031595149
2	-0,051888513	-1,508672045	-1,399143264	19,27208824	-19,27208824	3,3	0,927400537	-0,021014848
3	0,062246028	2,016132926	1,791327955	-16,06528213	16,06528213	0,1	0,88849695	0,025209641
4	-0,205102382	1,475660846	2,116132926	4,875613792	-4,875613792	0,1	1,434023903	-0,083066465
5	0,175489427	2,177866741	1,575660846	-5,69834899	5,69834899	1,9	0,723488181	0,071073218
6	0,184745854	16,53428109	4,077866741	-5,412841372	5,412841372	0,1	0,246631028	0,074822071
7	-0,109737931	5,887383326	16,63428109	9,112619407	-9,112619407	3,2	2,825411591	-0,044443862
8	-0,048971591	6,288743802	9,087383326	20,42000232	-20,42000232	0,1	1,445023619	-0,019833494
9	0,144098432	80,47083865	6,388743802	-6,939700784	6,939700784	0,2	0,079392037	0,058359865
10	0,090861615	-12,74444444	80,67083865	-11,00574753	11,00574753		-6,329882719	0,036798954

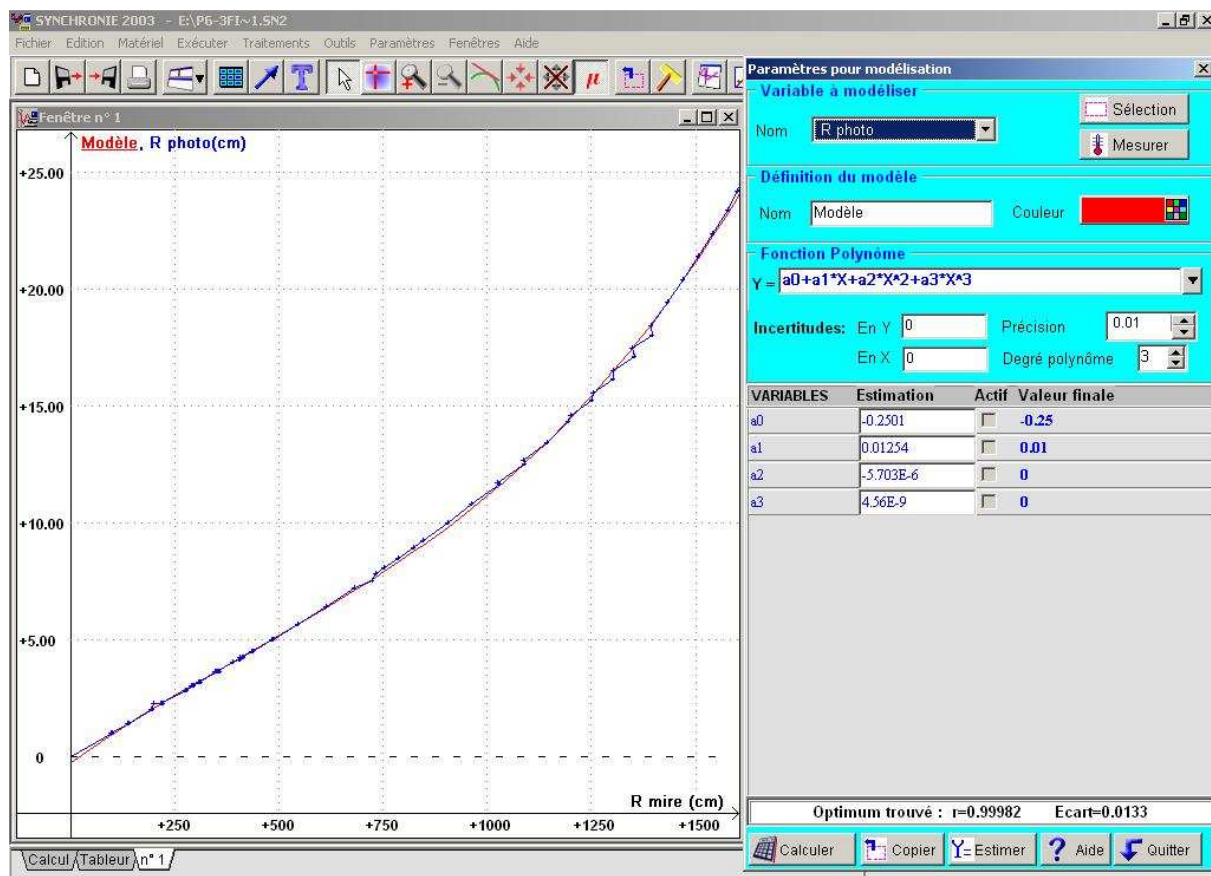
ANNEXE 6 : Tableau des lentilles minces constituant l'objectif

Vergence équivalente à l'ensemble des lentilles	Focale de la lentille équivalente
0,163728226	6,107682375
Vergence équivalente des lentilles avec le nouveau facteur	Focale de la lentille équivalente avec le nouveau facteur
0,066309932	15,08069722

ANNEXE 7 : Tableau récapitulatif de la focale et de la vergence de l'objectif



ANNEXE 8 : SC en fonction du dioptré



ANNEXE 9 : Courbe réalisée sous synchronie permettant de déterminer les coefficients de l'équation de correction de distorsion.

6.2. Listings des programmes réalisés

ANNEXE 10 : Programme de calcul de la position des centres optiques :

```
public class CentreOptique {
private double theta=0, rayon=0, rayonTest=0, hauteur, ecart, approximation;
/*Méthodes Calculatoire du problème*/
/*-----*/
public double CalculerRayon(double ecart, double thetaTest){
return ecart/(1-Math.cos(thetaTest));
}
public double CalculerTheta(double hauteur, double rayon){
return Math.asin(hauteur/rayon);
}
public double CalculerApproximation(double rayon, double rayonTest){
return rayon/rayonTest;
}

/*Constructeur*/
/*-----*/
public CentreOptique(double hauteurE, double ecartE){
hauteur=hauteurE;
ecart=ecartE;
rayon=hauteur;
do{
```



```

rayon=rayon+0.0005;
theta=CalculerTheta(hauteur, rayon);
rayonTest=CalculerRayon(ecart, theta);
approximation=CalculerApproximation(rayon, rayonTest);
}while(approximation>1);
System.out.println("Rayon = "+rayon+"\nRayon
testé:"+rayonTest+"\nApproximation = "+approximation+"\nTheta =
"+Math.toDegrees(theta));
}

/*Programme principal*/
/*-----*/
public static void main(String[] args){
CentreOptique u=new CentreOptique(2.95,0.65);
}

}

```

La sortie se fait sur un terminal.

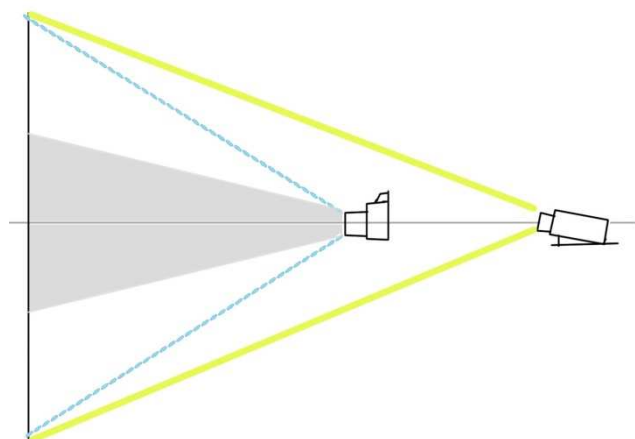
```

> restart, with(plots):
> V := (SC1, SC2) -> (1.51714 - 1) * (1/SC1 - 1/SC2);
V1 := V(10, -13.21) : V2 := V(6.5, -8.0129) : V3 := V(-10.56, 88000) : V4 := V(88888, 4.7125) : V5 := V(4.25, -8.2) :
V6 := V(15.752, -3.625) : V7 := V(-3.62, 8.308) : V8 := V(8.308, 99999) : V9 := V(-6.35, -17.5) : V10 := V(-5.2004, -24.132) :
f := (v, SA) -> SA/(SA*v + 1);
A1 := f(.090861615, 4, -12.7444) : A2 := f(V2, 4, A1 - 0.2) : A3 := f(V3, 4, A2 - 3.2) : A4 := f(V4, 4, A3 - 0.1) : A5 := f(V5, 4, A4 - 1.9) :
A6 := f(V6, 4, A5 - 0.1) : A7 := f(V7, 4, A6 - 0.1) : A8 := f(V8, 4, A7 - 3.3) : A9 := f(V9, 4, A8 - 2.6) : A10 := f(V10, 4, A9) :
calcul de la vergence des lentilles (fonction: V(SC1,SC2)) et calcul de l'image par une lentille (la
fonction: f(v,SA));
> for s from 1 to 10000 do
h := s/10000;
A1 := f(.090861615, h, -12.7444);
A2 := f(V2, h, A1 - 0.2);
A3 := f(V3, h, A2 - 0.1);
A4 := f(V4, h, A3 - 3.2);
A5 := f(V5, h, A4 - 1);
A6 := f(V6, h, A5 - 0.1);
A7 := f(V7, h, A6 - 0.1);
A8 := f(V8, h, A7 - 0.1);
A9 := f(V9, h, A8 - 3.3);
A10 := f(V10, h, A9 - 2.6);
if (evalf(A10) >= 1000) then X := A10, Y := h; end if; h := 0; A10 := 0;
end do;
> evalf(X); evalf(Y); y le facteur de correction
1028.744293
0.4050000000
(1)

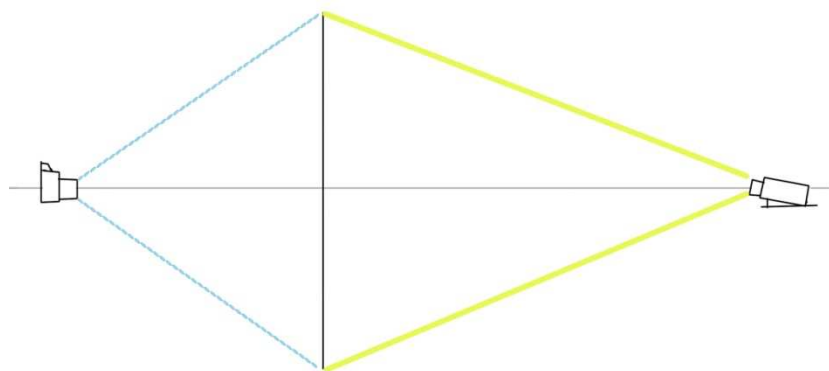
```

ANNEXE 11 : Calcul du facteur correcteur sur Maple

6.3. Schémas de montages, plans de conception



ANNEXE 12 : Schéma mire-objectif-projecteur. En gris l'ombre projetée par l'appareil sur la mire.



ANNEXE 13 : Schéma objectif-mire-projecteur.

6.4. Propositions de sujets de projets (en lien ou pas avec le projet réalisé)

- Affiner l'équation de redressement pour l'adapter aux images réelles.
- Réaliser notre propre objectif à partir de la connaissance sur les lentilles.
- Réaliser un « Google-Street/INSA ».