

Etude d'une caméra Kaléidoscopique

Stage d'une durée de 6 mois réalisé du 1 février au 22 juillet 2022

*Tschirhart Fabian
Année universitaire 2021-2022*



Laboratoire : IRIMAS, Université de Haute-Alsace

Formation : Master Informatique Mobile, Faculté des sciences et techniques, Université de Haute Alsace, Mulhouse

Maîtres de stage : Stéphane Bazeille & Christophe Cudel

Enseignant référent : Mahmoud Melkemi

Formulaire d'information sur le plagiat

Dans le règlement des examens validé par la CFVU du 2 octobre 2014, le plagiat est assimilé à une fraude. Cette information est présentée à chaque étudiant de l'Université de Haute Alsace susceptible de rédiger un document long de type thèse, mémoire ou rapport de stage. Le formulaire signé devra obligatoirement être intégré au document.

Le plagiat consiste à reproduire un texte, une partie d'un texte, des données ou des images, toute production (texte ou image), ou à paraphraser un texte sans indiquer la provenance ou l'auteur.

Le plagiat enfreint les règles de la déontologie universitaire et il constitue une fraude. Le plagiat constitue également une atteinte au droit d'auteur et à la propriété intellectuelle, susceptible d'être assimilé à un délit de contrefaçon.

En cas de plagiat dans un devoir, dossier, mémoire ou thèse, l'étudiant sera présenté à la section disciplinaire de l'université qui pourra prononcer des sanctions allant de l'avertissement à l'exclusion. Dans le cas où le plagiat est aussi caractérisé comme étant une contrefaçon, d'éventuelles poursuites judiciaires pourront s'ajouter à la procédure disciplinaire.

Je soussigné(e)

TSCHIRMART FABIAN

Etudiant(e) à l'Université de Haute Alsace en :

Niveau d'études :

Master II

Formation ou parcours :

Informatique Mobilité

Reconnait avoir pris connaissance du formulaire d'information sur le plagiat.

Fait à

MULHOUSE

Le

14/06/22

Signature :



Remerciements

Tout d'abord, j'aimerais remercier mes responsables de stage, Messieurs **Christophe CUDEL** et **Stéphane BAZEILLE** qui ont été présents tout le long afin de m'épauler sur mon travail et qui m'ont apporté beaucoup d'aide autant sur les côtés techniques qu'organisationnels de mon travail.

Je remercie également **Mohamad AL ASSAAD** qui fut un superbe collègue avec qui j'ai partagé le même bureau tout le long de mon stage et avec qui nous avons partagé énormément de moments fabuleux.

J'ai eu le plaisir de côtoyer un nombre important de collègues qui étaient très sympathiques, qui avaient tous toujours le sourire et que je voudrais ainsi remercier.

Il s'agit de :

- **Sophie KOHLER**, une personne adorable.
- **Nicolas VERRIER**, qui a toujours le mot pour faire rire.
- **Nicolas DOCKWILLER**, une personne avec qui je m'entends très bien comme on a la même tranche d'âge.
- **Jean-Baptiste COURBOT**
- **Bruno COLICCHIO**, drôle, inspirant et pédagogue.
- **Matthieu DEBAILLEUL**, un grand physicien qui aime bien partager son savoir.
- **Alain DIERTERLEN**, notre super doyen.
- **Gandorj DARAMBAZAR**, une personne au grand cœur avec qui j'ai passé beaucoup de moments.
- **Bushra CANAAN**
- **Ali MOUKADEM** pour sa sympathie.
- **Asemare MENGISTIE TADDESE** une personne superbe avec qui j'ai passé beaucoup de temps.
- **Oumaima JRAD**
- **Olivier HAEBERLE** notre super directeur de département ainsi qu'un puits de savoir sans fond.

Je n'oublie pas non plus les deux autres stagiaires **Nawress**, **Maxime** et **Simon** qui étaient supers.

Je remercie une nouvelle fois Messieurs **Stéphane BAZEILLE** ainsi que **Nicolas VERRIER** et **Ali MOUKADEM** pour les nombreuses connaissances en traitement du signal que j'ai apprises en leur compagnie.

Pour finir, je remercie le personnel du secrétariat qui était très aimable et toujours disponible.

Sommaire

AVANT-PROPOS.....	1
1. INTRODUCTION	2
1.1. LIEU DU STAGE.....	2
1.2. CONTEXTE	3
1.3. OBJECTIFS.....	4
2. OPTIQUE ET CAMÉRA	6
2.1. INTRODUCTION	6
2.2. QU'EST-CE QU'UNE CAMÉRA.....	6
2.3. LENTILLE MINCE [6].....	8
2.4. MODÈLE STÉNOPÉ.....	9
2.5. INFORMATION DE PROFONDEUR.....	10
2.6. DISPARITÉS	10
2.7. LES CAMÉRAS	12
2.7.1. Active	12
2.7.2. Passive	13
3. NOTRE CAMÉRA [13]	15
3.1. HISTOIRE	15
3.2. PARTICULARITÉS.....	16
3.2.1. Kaléidoscope [14] [13] [15]	16
3.2.2. Caractéristiques.....	17
3.4. STRUCTURE	22
3.3.1. Le multiplicateur d'image	23
3.3.2. Sous échantillonnage de l'ouverture	23
3.3.3. Ouverture du système de prise de vue.....	24
3.3.4. Géométrie de l'imagerie	24
3.3.5. Conception du système de miroir.....	24
3.3.6. Utilisation de l'image Kaléidoscopique	24
3.4. CALIBRATIONS [17]	25
3.4.1. Classiques [18] [19].....	25
3.4.2. Kaléidoscopique.....	26
3.5. CONCLUSION	32
4. EXPÉRIMENTATIONS POUR LE CALCUL DE PROFONDEURS	33
Disparités.....	33
4.1. REPROJECTION AVEC UN MIROIR	35
4.1.1. Cas classique	35
4.1.2. Cas kaléidoscopique	37
4.2. INVERSION DES VUES	39
4.2.1. Cas classique	39
4.2.2. Cas kaléidoscopique	41
5. CONCLUSION	42
BIBLIOGRAPHIE ET WEBOGRAPHIE.....	43
ANNEXES	44

Avant-propos

Avant de faire ce stage, j'ai eu l'occasion d'en faire plusieurs autres :

- ✓ En 2019 lors de ma 3ème année de licence j'ai effectué un stage de 2 mois dans le domaine du web.
- ✓ En 2021 durant ma première année de Master j'ai choisi de faire un stage dans le cadre d'une matière de projet qui avait duré 1 mois dans le domaine de la programmation de logiciel.

Ces deux stages ont été réalisés en autonomie sans responsable informatique et c'est pourquoi ce stage de 6 mois constitue un vrai défi.

- Le domaine demande plus de connaissances techniques telles que la vision par ordinateur, les mathématiques et la physique.
- Il s'agit de faire de la recherche et non plus d'appliquer un cahier des charges.

Au cours de l'année 2021 l'IRIMAS - un laboratoire de recherche qui travaille dans les domaines des mathématiques, de l'informatique et des signaux - fait l'acquisition d'un nouveau type de caméra dont le potentiel est assez grand mais méconnu.

Animé par l'envie de travailler avec des images et travailler dans le domaine du traitement d'image, j'ai souhaité me pencher sur ce sujet qui devait concerner initialement de **l'odométrie visuelle** (technique permettant d'estimer la position d'un véhicule en mouvement) [1].

Finalement, nous avons seulement étudié la caméra sans travailler sur l'aspect de navigation. Le fait d'étudier la caméra permettra au labo d'aller vers l'objectif final de permettre à un véhicule de se localiser de façon visuelle dans l'espace.

Ce rapport sera présenté selon l'ordre suivant :

- Pour commencer, nous présenterons le laboratoire en nous focalisant sur l'axe qui correspond à notre équipe de travail.
- Puis nous ferons une entrée en matière en optique et caméra où nous présenterons les aspects centraux des caméras.
- Une fois l'entrée en matière faite à travers les connaissances nécessaires, nous parlerons des recherches que nous avons effectuées sur notre modèle de caméra qui nous ont permis de mieux comprendre son fonctionnement.
- Nous enchaînerons sur les calibrations et nous expliquerons comment cela fonctionne avec notre caméra.
- Pour finir, nous présenterons plusieurs manières de calculer la profondeur que nous avons expérimentées à travers plusieurs méthodes.

Le stage a été effectué sur un **mini PC** équipé d'une carte graphique Intel, sur un système d'exploitation **Windows 10**.

Le langage de programmation utilisé est **Python 3** avec la librairie **OpenCv** qui était indispensable.

1.Introduction

1.1. Lieu du stage

Le stage s'est déroulé dans un laboratoire qui se nomme **L'IRIMAS** [2], il s'agit d'un institut de recherche en **informatique, mathématique, et automatique et signal**.

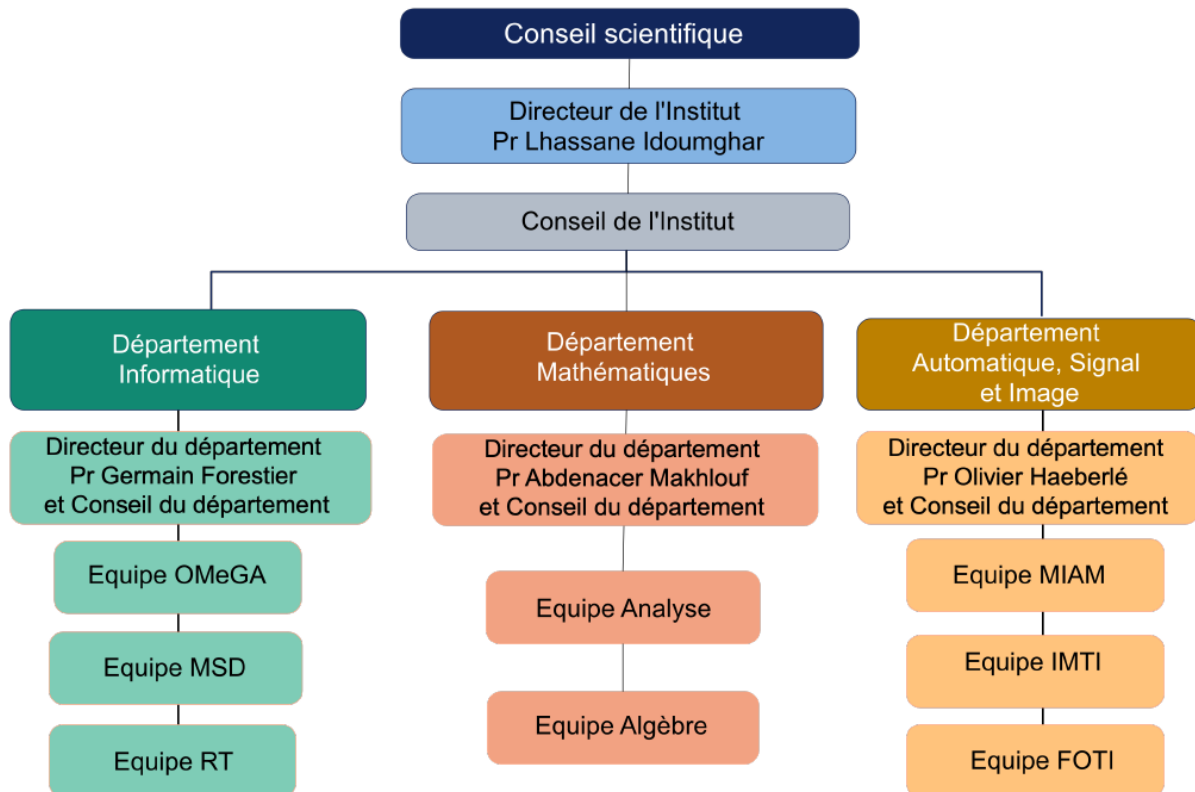


Figure 1.1 : Organigramme IRIMAS

Les enseignants-chercheurs de l'IRIMAS sont rattachés à 4 facultés, écoles ou IUT de l'UHA :

- L'ENSISA – École Nationale Supérieure d'Ingénieurs Sud-Alsace,
- La [FST – Faculté des Sciences et Techniques](#),
- L'IUT de Mulhouse – Institut Universitaire de Technologies de Mulhouse,
- L'IUT de Colmar – Institut Universitaire de Technologies de Colmar.

J'ai fait partie de l'équipe **IMTI** (Imagerie Microscopique et Traitement d'Images), (voir Figure 1.1), cette équipe se trouve à l'IUT de Mulhouse.

L'équipe IMTI développe des recherches fondamentales, mais aussi appliquées, allant jusqu'au transfert de technologie, en traitement du signal, traitement d'images, et instrumentation.

Ses recherches couvrent trois domaines principaux :

- **Microscopie 3D** : compréhension et maîtrise des mécanismes de formation des images, développement de nouveaux systèmes de microscopie, et amélioration des images par traitement informatique (déconvolution, débruitage, restauration, reconstruction).

- **Vision, Image et Apprentissage**, avec deux thématiques complémentaires, l'acquisition d'images d'une part, avec des dispositifs spécifiques (eye-tracking, caméras multi-vues), et l'analyse, l'apprentissage, la reconnaissance de formes en traitement d'images d'autre part.
- **Traitement du signal** : l'extraction de l'information pertinente pour classifier et compenser si nécessaire les perturbations, avec des applications principalement en électronique de puissance pour les smart-systems, et sur les signaux physiologiques humains.

Les 3 domaines principaux cités précédemment sont aussi appelés « axes », nous pouvons considérer que chaque axe représente une sous équipe de l'équipe IMTI. Pour ma part, j'ai intégré l'axe vision auquel sont rattachés :

Stéphane BAZEILLE	Maître de conférences
Christophe CUDEL	Professeur
Mohamad AL ASSAAD	Doctorant
Sophie KOHLER	Maître de conférences

1.2. Contexte

Actuellement, les promesses d'évolution technologiques sont souvent visibles à travers des systèmes dit « intelligents » et « autonomes ». L'IRIMAS se positionne sur les véhicules autonomes ce qui n'est pas une mince affaire car, pour des questions de sécurité notamment, le système doit être fiable et robuste.

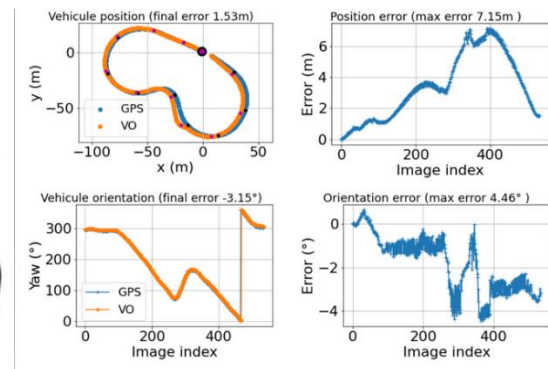


Figure 1.2 : a) Renault SCENIC b) Caméra Monoculaire c) Résultats calcul trajectoire

Le programme de conduite d'un véhicule autonome n'utilise que le GPS qui pourrait pour une raison ou pour une autre être défaillant, c'est pourquoi l'équipe IMTI a étudié l'estimation de trajectoires d'un véhicule autonome à l'aide d'une caméra standard sur lequel les équipes IMTI et MIAM du département ASI sont intervenues (voir Figure 1.1 pour les équipes).

Pour ce projet, nous avons une Renault SCENIC (Figure 1.2.a) qui est un véhicule autonome notamment équipé d'un GPS et d'une caméra monoculaire (Figure 1.2.b) avec laquelle les trajectoires du véhicule sont estimées.

Sur le circuit, les trajectoires ont d'abord été calculées avec le GPS qui, étant très précis, représente les résultats à égaliser avec les calculs faits avec la caméra comme nous pouvons le voir sur le graphique en haut à gauche de la Figure 1.2.c.

Le véhicule a parcouru tout le circuit en 70 secondes durant lequel il a effectué une distance de 345m (15 km/h). Durant le parcours, la caméra a pris 535 images soit 8 images par seconde.

Comme nous pouvons le voir sur la Figure 1.2.c, sur le graphique en haut à droite, la position du véhicule est jusqu'à 7 mètres de distance par rapport au tracé de référence, donc les résultats manquant de précision, le choix a été fait d'utiliser un nouveau type de caméra dite Kaléidoscopique qui permet de récolter plusieurs images en une seule acquisition ce qui rendra le calcul de position plus précis.

1.3. Objectifs

Des solutions ont déjà été étudiées pour calculer les profondeurs dans l'axe vision de l'équipe IMTI, c'est avec un nouveau type de caméra (Raytrix) avec microlentilles que nous avons pu calculer des profondeurs de manière précise (voir Figure 1.3).

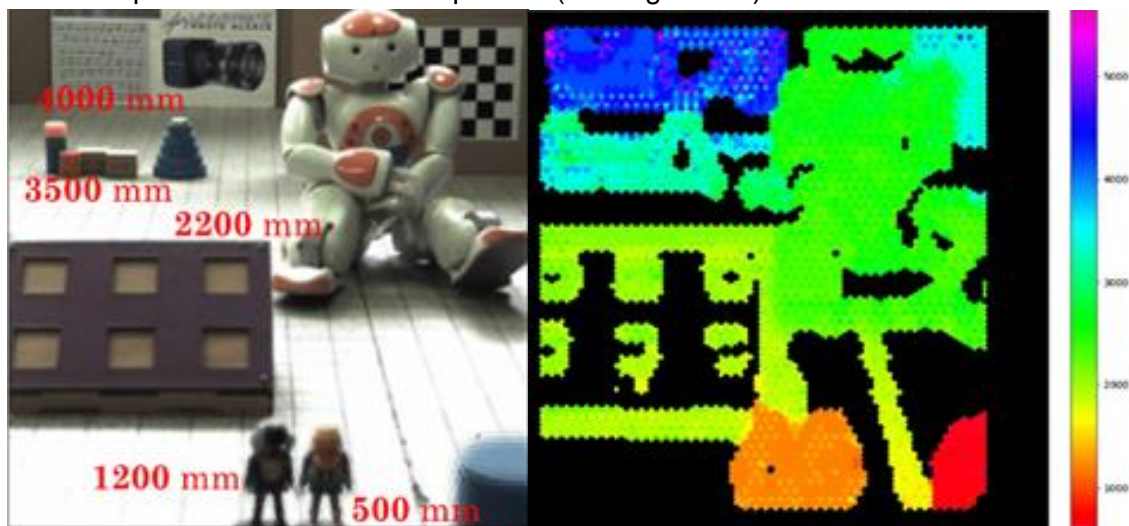


Figure 1.3 : a) Scène

b) Profondeurs de la scène

A gauche de la Figure 1.3 est présentée l'image (après rectification) d'une scène prise par la caméra Raytrix et à droite nous avons les profondeurs calculées. Bien que les résultats soient bons, nous ne pouvons pas utiliser cette caméra pour de l'odométrie visuelle car le calcul de profondeur n'est plus possible avec ce modèle à partir de 4 mètres environ [3].

C'est pourquoi nous avons donc un nouvel **objectif de caméra** qui rend une image composée de 9 sous images qui représentent la même scène.

Cet objectif de caméra monté sur une caméra aura pour objectif de donner l'information de profondeur de manière tout aussi efficace que la caméra Raytrix mais avec une distance de calcul de profondeur bien plus longue.

L'enjeu est donc d'explorer les possibilités qu'offre ce nouvel objectif ainsi que ses capacités à nous faire récupérer les **informations 3D**, c'est-à-dire la distance entre la caméra et les objets vue par celle-ci.

Cet objectif doit nous permettre d'améliorer les résultats des estimations de trajectoire à l'aide d'une acquisition plus riche car notre caméra peut collecter plusieurs points de vue de l'environnement en une seule acquisition.

L'étude de cette caméra permettra à terme d'améliorer l'autonomie des véhicules de l'IRIMAS en les rendant indépendants du GPS sur de courtes périodes ou quand le GPS n'est pas utilisable comme en intérieur ou sous un pont.

2. Optique et caméra

2.1. Introduction

Avant toute chose, comme nous travaillons avec une caméra, il est important de savoir ce qu'est une caméra et quelques composants de sa structure, nous allons donc expliquer brièvement ce qu'est une caméra et s'intéresser à quelques éléments de celle-ci ainsi qu'aux éléments techniques qui servent au sujet.

Puis, nous parlerons des types de caméra qui sont utiles pour le calcul de distances pour finalement parler de notre propre objectif de caméra d'où les informations proviennent de nos recherches et expérimentations.

2.2. Qu'est-ce qu'une caméra

Avant de parler de caméra, nous parlons de chambre noire, c'est dans les années 1700 que nous avons les premières illustrations de la **caméra obscura** (chambre noire) [4] [5]

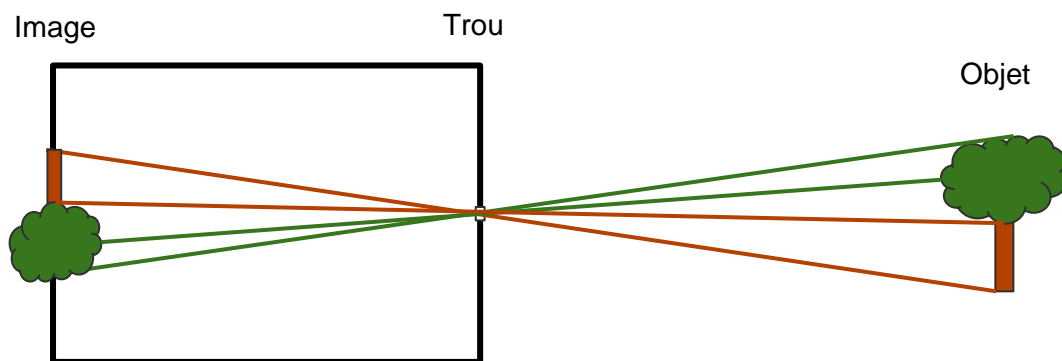


Figure 2.1 : Illustration caméra obscura

Sur l'illustration de la caméra obscura (Figure 2.1) nous avons un élément du décor qui reflète des rayons lumineux, chaque point de l'objet se reflète dans toutes les directions, mais un seul rayon partant de l'objet ne rentre pas dans le trou et se reflète à l'envers dans la boîte.

La caméra obscura ou chambre noire n'est pas une caméra comme nous les connaissons aujourd'hui, c'est une boîte avec un simple trou assez petit pour qu'un seul (ou le moins possible) des rayons lumineux passe par le trou pour chaque point de l'objet et donc qu'il soit visible au fond de la boîte.

Un trou un peu trop grand crée une image floue, et un trou trop grand une image qui serait le mélange des couleurs de l'objet et donc non-discernable.

Le principe peut être appliqué à une pièce d'une maison où la lumière ne passera que par un seul trou, la taille de la boîte en soi n'est pas limitée.

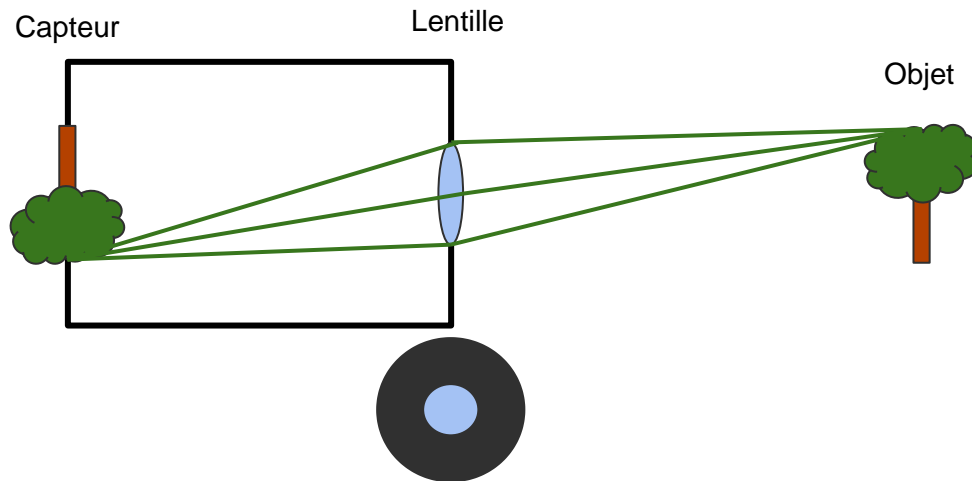


Figure 2.2 : Illustration caméra simple

De nos jours, voir *illustration caméra simple* (Figure 2.2), nous utilisons une **lentille** ou un système composé de plusieurs lentilles que nous pouvons appeler **objectif photographique**, cela permet d'avoir des trous plus grands et de rediriger plusieurs rayons provenant du même point de la scène (donc plus de lumière) pour éviter les problèmes vus précédemment. En effet, un petit trou réduisait beaucoup la luminosité et donc la clarté de l'image était très limitée.

La lentille peut sur certaines caméras être équipée d'une **ouverture** pour réduire ou augmenter la taille de celle-ci.

Les caméras sont équipées de **capteur** pour pouvoir enregistrer les images.

L'ensemble des objets affichés sur le capteur de notre caméra est appelé **scène**, ce que nous enregistrons avec le capteur est appelé **image**.

2.3. Lentille Mince [6]

La lentille mince est un modèle de projection des rayons lumineux, nous utilisons une ou plusieurs lentilles dans les systèmes optiques pour rediriger au moins nos rayons lumineux.

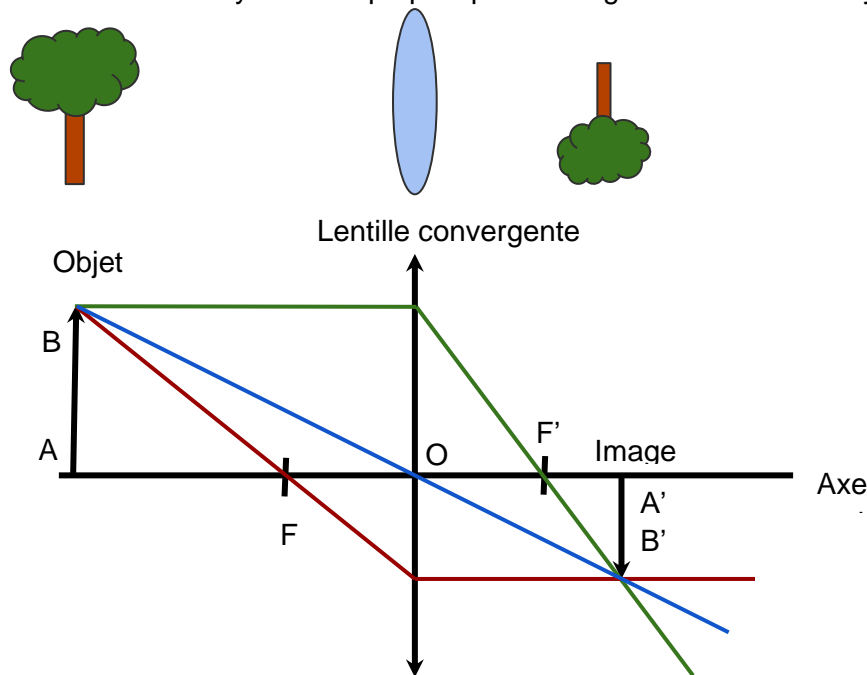


Figure 2.3 : Modèle de projection des rayons lumineux avec une lentille mince convergente

Notation Figure 2.3 :

F = Foyer Objet, F' = Foyer Image, O = centre optique, Distance focal $f' = OF'$, $OF = OF'$

L'illustration de la Figure 2.3 nous montre comment une **lentille mince convergente** fonctionne.

Une infinité de rayons lumineux partent des points de l'objet. Ici, nous modélisons pour un seul point de l'objet (ici un arbre).

Le point de l'objet envoie une infinité de rayons lumineux (entre le rayon vert et rouge) en direction du capteur ou l'image sera formée.

Les rayons perpendiculaires à la lentille des extrémités passent par les **foyers** F et F', la distance OF est la **distance focale**, le capteur de l'image est toujours derrière cette distance, l'endroit où l'objet apparaît de façon la plus nette est l'endroit où se croisent les rayons lumineux.

2.4. Modèle sténopé

Pour le *modèle sténopé* (Figure 2.4) nous reprenons le modèle précédent mais nous ne travaillons qu'avec les rayons qui passent par le **centre optique** pour chaque point de l'objet.

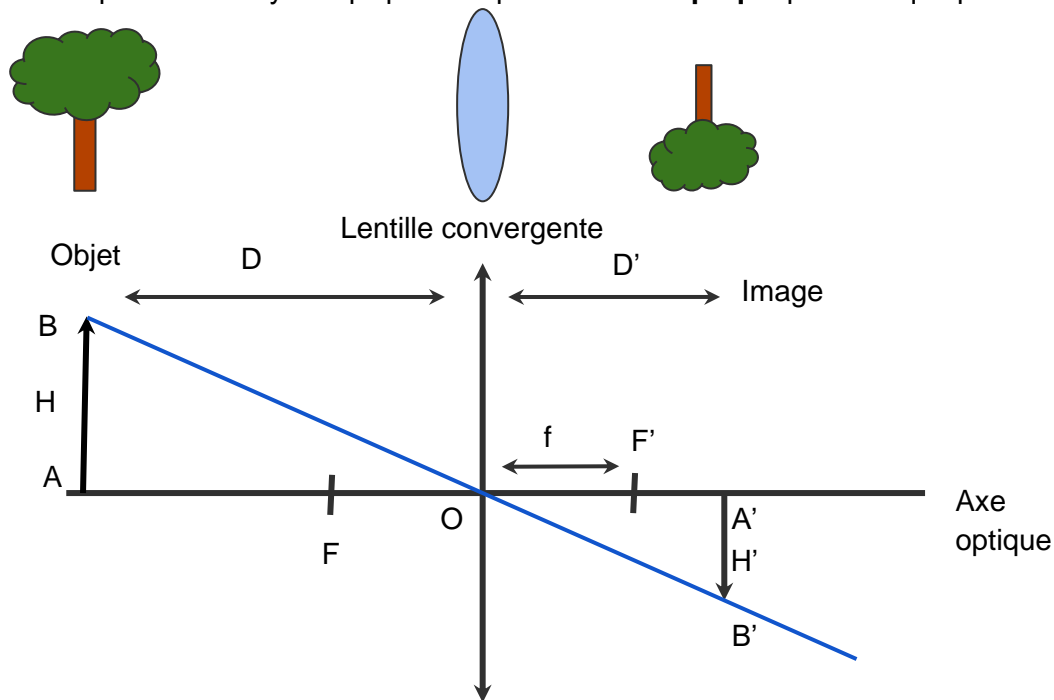


Figure 2.4 : Modèle sténopé

A partir de ce modèle (Figure 2.4) nous avons H la hauteur de l'objet en mm, H' la hauteur en pixels sur le capteur image, D la distance de l'objet jusqu'à la lentille en mm, D' la distance de la lentille jusqu'au capteur en mm et f la distance de la lentille jusqu'à la focale en mm.

La **focale** est toujours située derrière la lentille.

A partir de ce modèle nous avons les relations :

Relation de Descartes [7] :

Thalès :

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{D} + \frac{1}{D'} \xrightarrow{D \gg D'} f = \frac{D \times D'}{D + D'} \approx D' \quad (2.1) \quad \frac{H}{H'} = \frac{D'}{D} = \frac{f}{D} \quad (2.2)$$

La relation (2.1) nous permet de dire qu'étant donné que f et D' sont presque égaux, nous pouvons considérer f comme étant égal à D'.

A partir de cela et de la relation (2.2) nous obtenons une relation entre les données provenant du rayon lumineux effectivement utilisées.

2.5. Information de profondeur

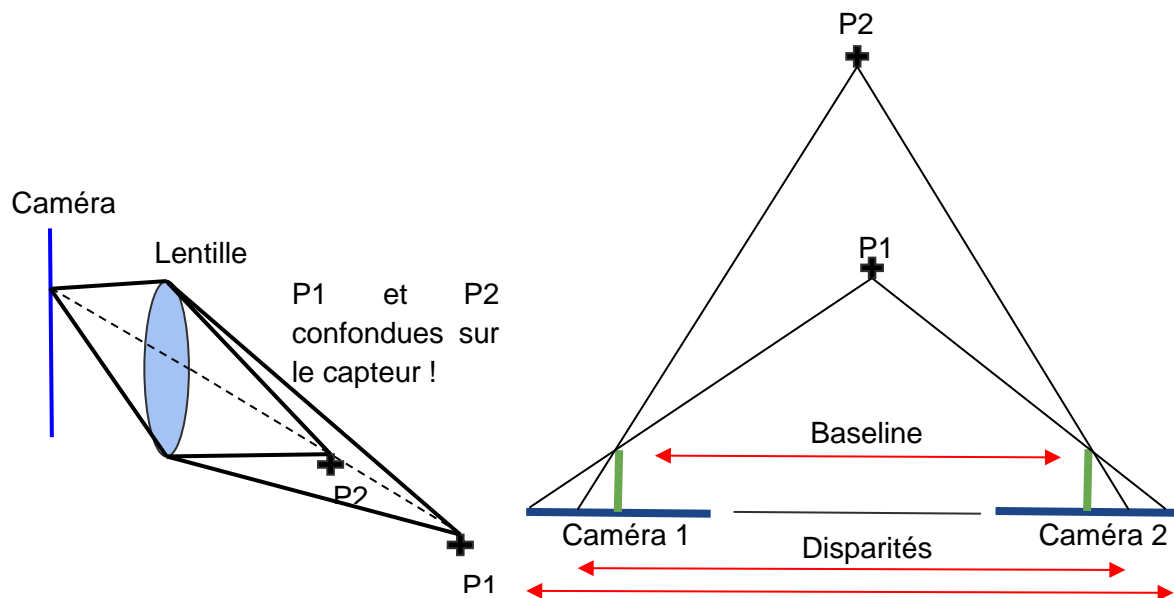


Figure 2.5 : a) Modèle sténopé et profondeur

b) Disparités en stéréo

Avec le modèle sténopé, nous ne pouvons pas estimer de profondeur juste avec une seule caméra, car plusieurs points à différentes distances sont confondus comme le montre l'illustration ci-dessus. Les projections de P1 et P2 sur le capteur d'image sont confondues, voir Figure 2.5.a.

2.6. Disparités

La **disparité** est la différence de pixel entre un point d'une image et son correspondant sur une autre image prise sous un autre point de vue.

Une carte de disparité représente la disparité de tous les pixels de l'image.

L'illustration des *disparités en stéréo* (Figure 2.5.b) représente un cas classique avec deux caméras alignées, un rayon part de P1 jusqu'à la caméra 1 et caméra 2 avec le modèle sténopé et atterrissent distinctement sur leurs capteurs. La distance entre les deux est la **disparité**.

La même chose avec le point P2 mais ici la disparité est plus faible, sur un cas classique avec des caméras alignées, la disparité est de plus en plus faible selon la distance jusqu'à ne plus varier.

Dans ce même cas, la **profondeur** peut être estimée et est inversement proportionnelle à la disparité dans un cas classique stéréo. Néanmoins, pour estimer précisément cette distance nous avons besoin de certaines informations de la caméra qui peuvent déjà être connues ou provenant de la **calibration**, sujet qui sera traité plus tard.

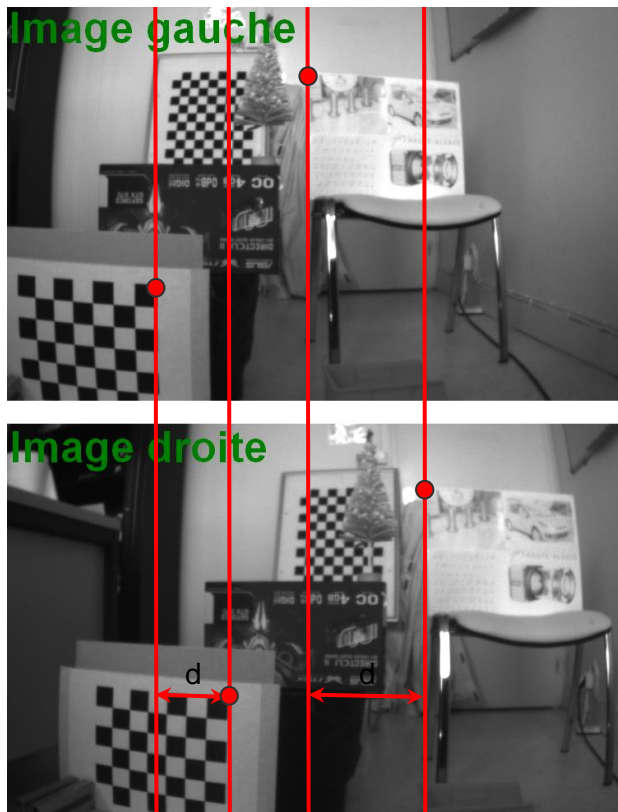


Figure 2.6 : a) Exemple calcul de disparités



b) Caméra stéréo Ensenso

Sur la Figure 2.6.a nous avons un exemple de calcul de disparités avec deux caméras presque alignées c'est-à-dire avec un angle de vue différent sur une caméra stéréo Ensenso N10-308-18 (Figure 2.6.b).

À noter qu'en général nous rectifions les images pour que tout point ait son correspondant sur le même axe Y ce qui rend les calculs plus rapides.

Ici, la disparité augmente avec la distance.

Il est important de noter que si la scène est homogène il n'y aura aucune disparité, les disparités se basent sur des détections de points ou zones caractéristiques et il est donc important que les éléments soient différenciables les uns par rapport aux autres.

Nous parlons bien d'estimations de la profondeur et non de calcul de profondeur.

2.7. Les caméras

Nous avons précédemment parlé d'optique, nous allons maintenant nous intéresser aux caméras, il existe énormément de caméras, dans cette section nous allons seulement nous intéresser aux caméras qui permettent de calculer des profondeurs.

Nous verrons deux catégories de caméras qui sont les caméras actives puis passives. Nous finirons bien sûr par la catégorie Light-Field qui correspond à notre caméra (voir Figure 2.7)

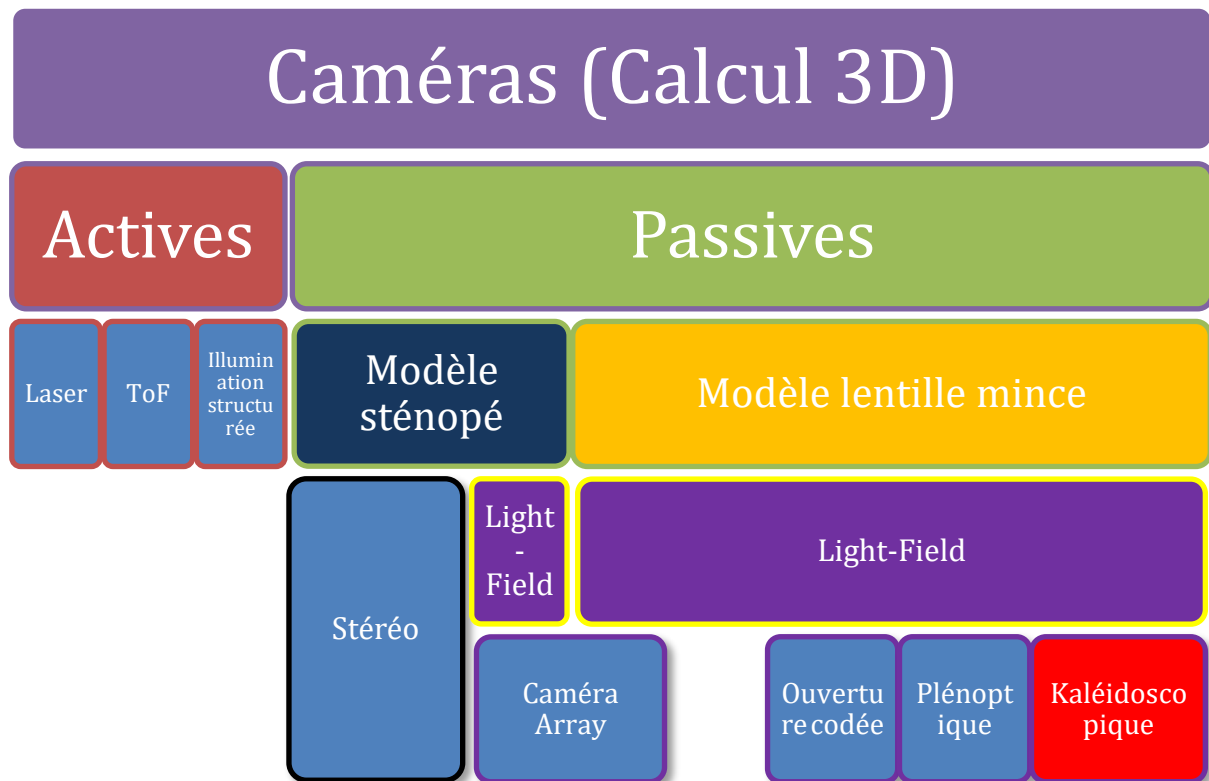


Figure 2.7 : Classification des caméras

2.7.1.Active

Les caméras actives sont des caméras qui sont **assistées** par un autre système, en d'autres termes une caméra peut être active si elle est équipée d'un système d'émission laser ou infrarouge.

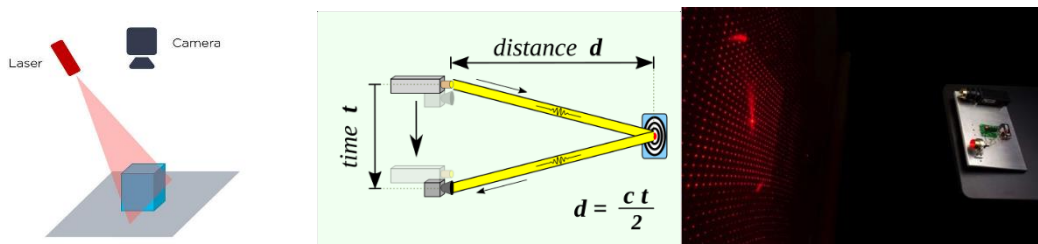


Figure 2.8 : a) Caméra laser b) Caméra temps de vol c) Caméra Illumination structurée

Le **laser** nous permet de calculer les profondeurs à l'aide de l'image de la caméra (Figure 2.8.a).

La caméra **temps de vol** ou “Time Of Flight” [8] permet de calculer le temps de trajet des rayons lumineux jusqu’aux points de la scène, le calcul est en général fait pour chaque pixel ce qui est coûteux et donc nous travaillons avec des petits capteurs (Figure 2.8..b).

Avec la caméra avec **illumination structurée** [9] nous projetons des motifs infrarouges qui selon la distance et la forme des objets varient, ce qui nous permet de calculer notamment la distance(Figure 2.8.c).

Bien entendu la caméra peut être équipée de plusieurs systèmes actifs à la fois.

2.7.2.Passive

A. Classique



Figure 2.9 : a) Caméra Stéréo b) The Stanford Multi-camera Array

Comme vu précédemment, nous pouvons utiliser **plusieurs caméras** pour calculer de la profondeur, quand nous utilisons deux caméras alignées nous appelons ça une **caméra stéréo** (Figure 2.9.a).

Les caméras stéréos sont la solution la plus économique pour avoir de la 3D car seulement 2 images différentes suffisent pour le calcul (Comparable à la vue humaine).

Avec deux caméras nous pouvons avoir des résultats plutôt satisfaisants, mais si nous voulons des résultats très précis nous pouvons en ajouter comme ici avec **the Stanford Multi-camera Array** [10](Figure 2.9.b).

Ces solutions nécessitent un **calibrage entre les caméras** et une **synchronisation lors de la prise d’image** ce qui nous amène à utiliser un autre type qui comble ce problème.

B. Light-Field

Le principe du **Light-Field** ou **champ lumineux** est de **capturer différents champs lumineux avec un seul capteur**, plus simplement avoir un point de la scène sous différentes perspectives.

Notre caméra est de cette catégorie-là, mais nous allons d’abord parler des principales caméras Light-Field qui existaient avant.

Ici, nous n'avons qu'une seule caméra ce qui permet d'éviter l'étape de **synchronisation** et de calibration entre caméra, cependant cela implique d'autres traitements car nous avons qu'**un seul capteur**.

C'est donc plus léger et plus pratique que les solutions précédentes.

- Ouverture codée [11]

Une caméra à **ouverture codée** est une caméra qui prend **plusieurs photos** successives avec des **ouvertures différentes** (Figure 2.10), le fait que la lumière ne vienne pas du même endroit à chaque photo crée un déplacement entre chaque image. Après chaque image nous faisons tourner le masque du modèle pour avoir le prochain modèle d'ouverture.



Figure 2.10 : Modèles d'ouverture de la caméra

Ce système a pour inconvénient que les 9 images (une pour chaque modèle) ne sont **pas prises au même moment** ce qui peut créer une erreur liée au déplacement des objets de la scène ou de la caméra.

- Plénoptique [12]

Les caméras **plénoptiques** sont équipées de **microlentilles** après la lentille principale (Figure 2.11.a), l'effet de ces lentilles est de répéter des parties de l'image, la redondance d'information permet de calculer la distance.

Il existe la caméra **Lytro** (Figure 2.11.b) dont les logiciels permettent de calculer des profondeurs à courte portée de façon précise et rapide mais il existe aussi la caméra **Raytrix** (Figure 2.11.c) qui a repris le flambeau sur Lytro dont l'entreprise a fermé.

Nous avons déjà parlé de la Raytrix précédemment car c'est une caméra avec laquelle le laboratoire a déjà travaillé et a eu ses premiers résultats.

Ces caméras ont l'avantage d'être très **compactes**.

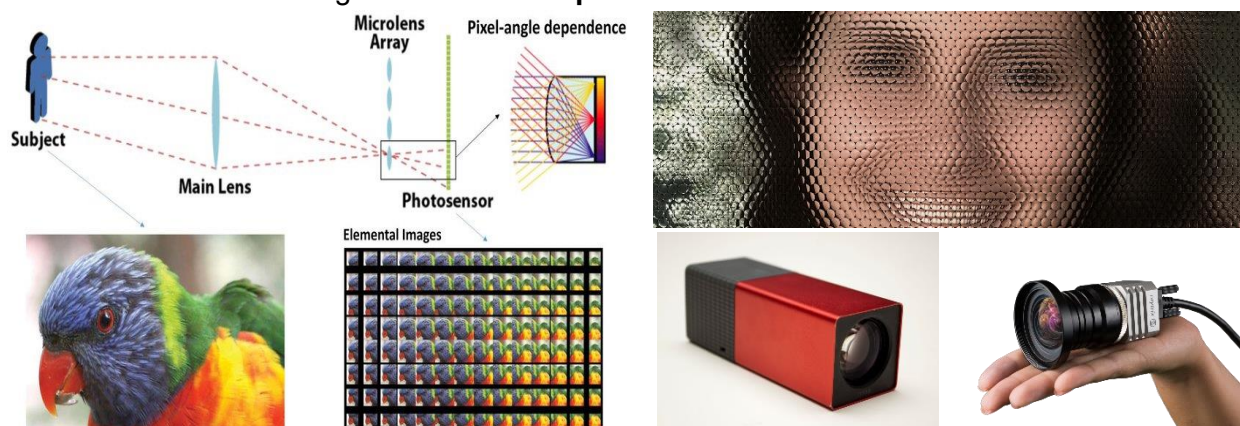


Figure 2.11 : a) Système de microlentilles

b) Caméra Lytro

c) Caméra Raytrix

d) Image Raytrix Zoomé (au-dessus des caméras)

Le visage zoomé d'une image de la caméra Raytrix (Figure 12.d) présenté sur le site officiel du constructeur a pour but de montrer les redondances des parties du visage qui permettent le calcul de profondeur de toutes les parties des visages ainsi que par la même occasion la reconstruction en 3D.

3. Notre caméra [13]

3.1. Histoire

Le premier **prototype** de notre caméra a été créé et présenté en **2013** lors de la conférence ACM SIGGRAPH 2013 avec la présentation du papier la présentation “**A Reconfigurable Camera Add-On for High Dynamic Range, Multispectral, Polarization, and Light-Field Imaging**”.

Ce papier nous présentait 2 objectifs Kaléidoscopique différent donc celui avec lequel nous travaillons.

- Le premier modèle d'objectif possède 9 sous-images exactement identiques qui peuvent être passés dans différents filtres.
- Le second modèle d'objectif crée un déplacement entre les sous images et donc les 9 sous images ne sont pas exactement identiques.

Les deux systèmes fonctionnent avec un système de miroirs, mais fonctionnent différemment, notre objectif correspond au deuxième modèle présenté.

C'est donc officiellement à cette date qu'un nouveau type de caméra **Light-Field** fait son apparition avec le second modèle présenté.



Figure 3.1 : Les différentes versions d'objectif de l'entreprise K|Lens

Notre objectif de caméra est le **prototype 3** qui est sur *l'historique des objectifs* ci-dessus (Figure 3.1), à ce jour aucun autre objectif que ceux-là sont sortis.

Hans-Peter Seidel et Ivo Ihrke sont deux personnes qui ont travaillé sur ce modèle d'objectif de caméra avec le premier prototype, et c'est en 2016 qu'ils ont décidé de créer l'entreprise K-Lens située en Allemagne tout en déposant le **brevet** pour la caméra.

Puis ils ont amélioré leurs prototypes et c'est ainsi qu'ils ont réalisé un Kickstarter le 29 novembre 2021 qui a été annulé le 28 janvier 2022. La fabrication et commercialisation de l'objectif sont donc retardées.

La marque met en avant surtout les qualités de calcul de profondeur que peut fournir la caméra. Cela permettrait selon eux de la retouche photo avancée pour les photographes notamment au niveau du focus, mais aussi en vision industrielle pour de la détection de profondeur sur des objets industriels.

Ils possèdent leurs propres algorithmes et logiciels pour le calcul de profondeur orientés sur les flux optique et l'intelligence artificielle.

3.2. Particularités

L'objectif n'est pas seulement composé de groupes de lentilles mais est aussi équipé d'un **système du miroir** semblable au **Kaléidoscope** nous allons brièvement parler de ce système sur lequel se base notre objectif qui est l'élément central de la caméra.

3.2.1. Kaléidoscope [14] [13] [15]



Figure 3.2 : a) Kaléidoscope

b) Intérieur Kaléidoscope

Ci-dessus (Figure 3.2) nous avons à gauche la représentation d'un Kaléidoscope pour enfant et à droite l'intérieur d'une Kaléidoscope avec de l'aluminium d'où le fait que les reflets ne soient pas présents.

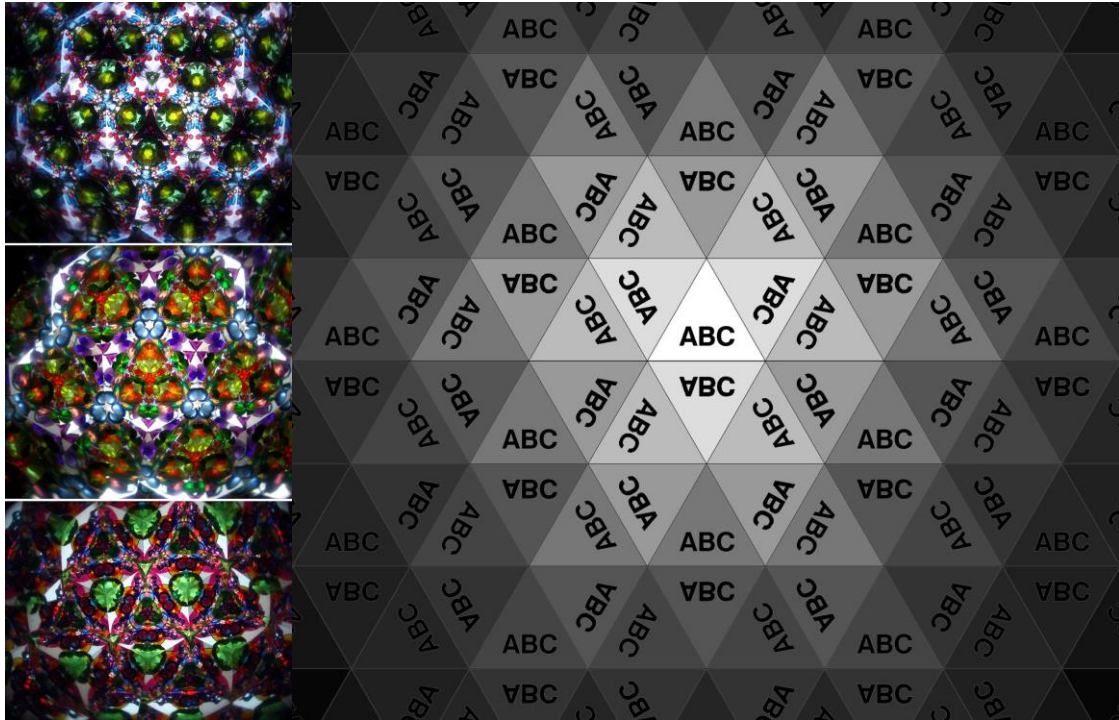


Figure 3.3 : Exemple réflexion des miroirs

Ci-dessus (Figure 3.3) à gauche nous avons trois exemples d'image de Kaléidoscope et à droite les réflexions d'un Kaléidoscope.

La définition de Kaléidoscope selon Wikipédia (En) :

Un kaléidoscope est un instrument d'optique comportant deux ou plusieurs surfaces réfléchissantes (ou miroirs) inclinées l'une par rapport à l'autre selon un certain angle, de sorte qu'un ou plusieurs objets situés à une extrémité de ces miroirs sont représentés sous la forme d'un motif symétrique régulier lorsqu'ils sont vus depuis l'autre extrémité, en raison de la réflexion répétée.

Dans notre cas aucun cristal n'est présent dans le Kaléidoscope car ce qui nous intéresse est la scène réelle.

Comme le montre la Figure 3.3 avec les réflexions, chaque réflexion implique que la suivante est **plus sombre** que la précédente.

Notre système de miroir quant à lui est finalement un Kaléidoscope avec **4 miroirs parallèles**.

3.2.2. Caractéristiques

L'objectif de la caméra a pour avantage de rediriger une seule et même image sur le capteur à un même instant sous 9 points de vue différents grâce à un système de miroir.

Ces images sont légèrement différentes, car elles ne sont pas montrées sous le même angle, dû à une légère variation. Ce qui permet d'avoir une **parallaxe** entre les sous images.

La **parallaxe** est l'impact d'un changement d'incidence d'observation, c'est-à-dire du changement de position de l'observateur, sur l'observation d'un objet. En d'autres termes, la parallaxe est l'effet du changement de position de l'observateur sur ce qu'il perçoit. [16]
Son estimation dans une paire d'images est une disparité comme vu précédemment.

Attention, notre caméra prend le caractère Kaléidoscopique que lorsque notre **objectif Kaléidoscopique** y est monté, et dans notre cas ce qui nous intéresse c'est l'objectif et non la caméra car c'est l'objectif qui possède les caractéristiques innovantes.

Un des points forts de l'objectif c'est qu'il peut être monté sur des caméras de type SLR ou DSLR et donc nous pouvons utiliser la caméra que nous souhaitons.

Sur notre objectif de caméra nous avons deux bagues qui permettent de modifier le focus et l'ouverture.

Caractéristiques de l'objectif	
Distance focale	78mm
Ouverture (manuel)	f6.3 -f/19 (moyenne à très réduite)
Ouverture maximum	0.8 (virtuel, post-processing)
Monture de caméra	F, E, EF (L, Z, R avec adaptateur)
Format compatible	Plein format
Focus (manuel)	0,5 m-infini
Minimum de distance de travail	50 cm
Angle de vue	25° (horizontal)
Cercle image diamètre	24x36mm
Résolution optique	45mp
Longueur de base (Entre chaque vue voisine sur l'axe horizontale)	6.25mm (15 mm max)
Distances idéales pour le calcul de profondeur	1m - 15 m (>15m dépend de la scène)
Design optique	17 lentilles en 13 groupes
Cercle du filtre	67mm
Longueur	253mm
Poids	1720 g

Caractéristiques de la caméra Baumer LXG-500C	
Type de capteur	35mm CMOS
Résolution	7920 × 6004 px
Taille pixel	4.6 × 4.6 µm(micromètre)
Temps d'exposition	0,1 à 1000 ms

Parmi les caractéristiques, le fabricant indique que le calcul de profondeur est possible jusqu'à 15 mètres, sur la Figure 3.7 de la *structure simplifiée* ils indiquent 10 mètres, de notre côté nous n'avons pas évalué cette caractéristique.

Certaines caractéristiques peuvent différer car il s'agit de la fiche caractéristique du dernier prototype.

La Figure 3.4.b représente le visuel de notre objectif avec la bague de focus au milieu et la bague d'ouverture qui permettent de modifier ces deux caractéristiques et dont la barre blanche/grise indique la valeur.

La caméra attachée à notre objectif est une caméra Baumer LXG-500C dont la résolution est de 7920 × 6004 pixels.

L'objectif pèse 1720 grammes et la caméra 320 grammes ce qui fait un peu plus de 2 kilos pour le tout, notre objectif est plus léger et moins long que le dernier prototype.

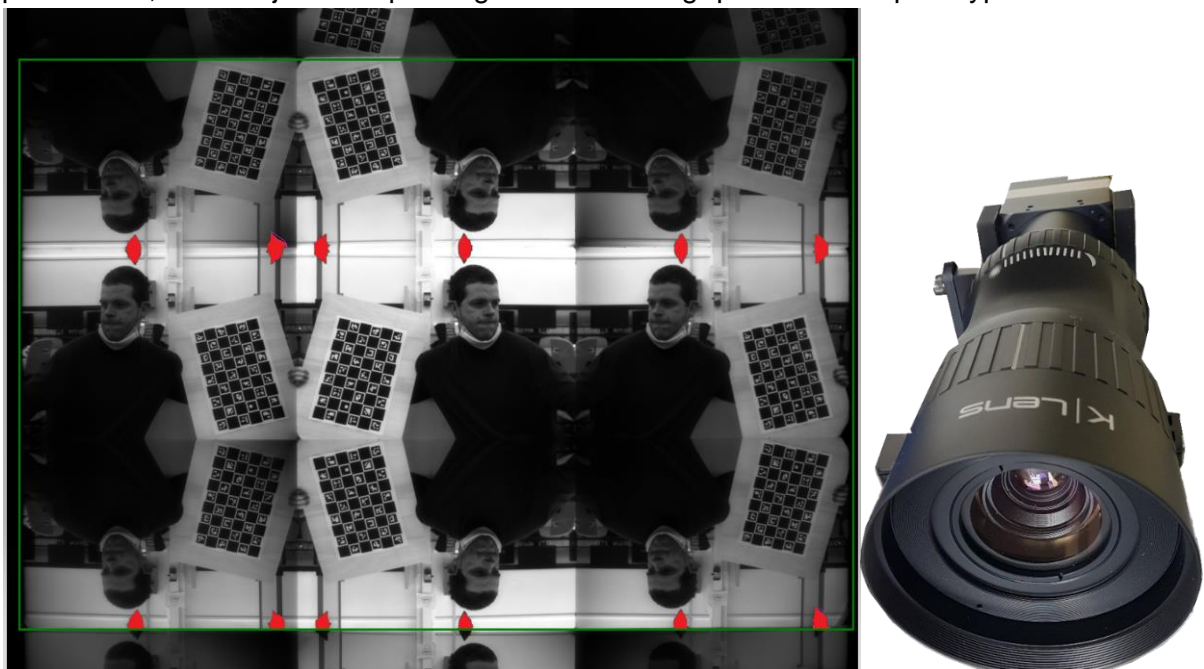


Figure 3.4 : a) Exemple d'image obtenue avec notre caméra Kaléidoscopique prototype 3 b) Objectif Kaléidoscopique

Sur la *Figure 3.4.a* nous avons un exemple d'image Kaléidoscopique avec les 9 vues entourées en vert et le surplus à l'extérieur ainsi que les parties en rouges qui sont les parties perdues dans l'image.

À noter que comme les sous-images sont affichées sous différents angles de vues, les images qui comportent une symétrie sont mieux lumineuses, et celles qui comportent deux symétries le sont encore moins.

A partir d'une image Kaléidoscopique nous avons calculé les zones vraiment utiles, Nous avons entouré les 9 points de vue par une bordure verte et nous appellerons cela la **zone verte** qui est la zone utile d'exploitation des sous images.

Nous avons coloré en **rouges** les zones où il n'y aucune information après réflexions qui sont en réalité en noir.

Résolution image	7920 x 6004
Résolution utile (zone verte)	7772 x 5146
Perte de pixels en pourcentage (en dehors de la zone verte)	15,9%
Résolution des sous-images	2591 x 1715 (Plus que Full HD)
Perte de pixels en pourcentage (zones rouges)	0,46%

Les pertes de pixels sont calculées sur la résolution totale de l'image de base.
Étant donnée la taille des images, les traitements peuvent être longs sans réduire leur taille.

Le fait que la zone verte existe s'explique par le fait que l'objectif est fait pour être utilisé avec des capteurs de caméra dont la taille est proportionnelle à 36 x 24 mm.

Si nous divisons 7920 par 36 et 6004 par 24 nous obtenons les valeurs 220 et 250 et donc un écart considérable.

Si au contraire avec les tailles effectives nous divisons 7772 par 36 et 5146 par 24 nous obtenons 216 et 215 et donc un écart très faible, cela correspond donc bien aux proportions du capteur.

Toutes ces informations sont liées à notre capteur Baumer et peuvent varier selon le capteur utilisé, notons aussi le fait que notre capteur ne renvoie qu'au maximum 15 images par seconde.

Étant donné que les éléments qui nous intéressent ne seront pas dans les bordures, les pertes en rouges ne seront pas trop pénalisantes.

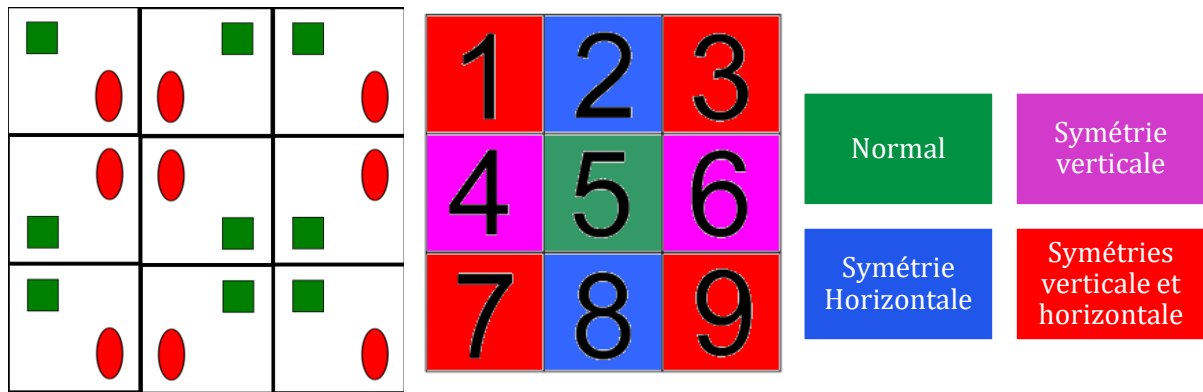


Figure 3.5 Symétries des sous images et numérotations

Comme nous pouvons le voir avec les images ci-dessus (Figure 3.5) les images Kaléidoscopique comportent des symétries, de plus nous avons numéroté ces sous-images pour but pratique.

Sur la Figure 3.5 nous pouvons voir à quoi peut ressembler une image Kaléidoscopique qui comporte deux symétries verticales à gauche et à droite de la sous-image centrale, deux symétries horizontales en bas et en haut de la sous-image centrale et 4 doubles symétries verticales et horizontales dans les sous-images des 4 coins.

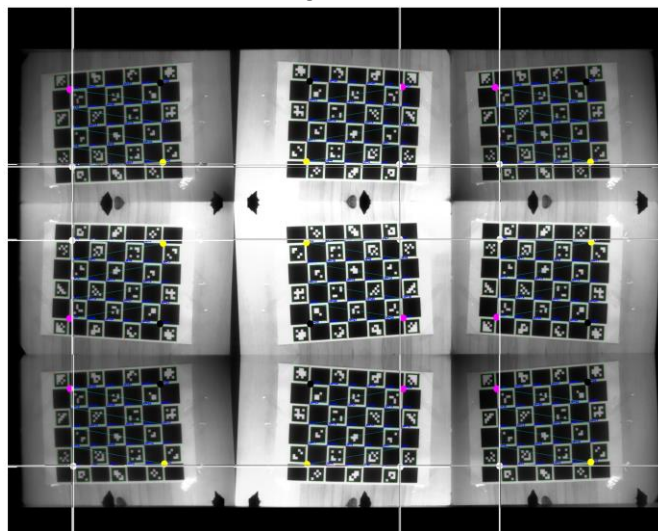


Figure 3.6 : Alignement des sous images Kaléidoscopique

Sur l'image Kaléidoscopique ci-dessus (Figure 3.6) nous avons pour chaque point blanc tracé une ligne sur l'axe X et Y, nous pouvons voir que les vues sont plutôt bien alignées sur ces deux axes ce qui permet en théorie de pouvoir calculer des disparités entre les vues alignées sur un axe X ou un axe Y. Cette observation avait été faite au préalable à la main.

3.4. Structure

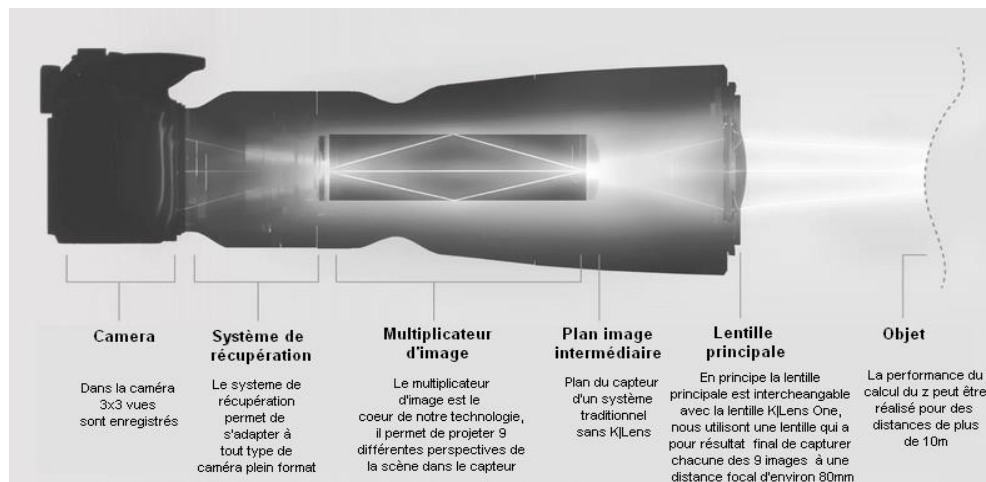


Figure 3.7 : Structure simplifiée

Sur le schéma de la structure simplifiée (provenant du site officiel du constructeur K|Lens) de la caméra (Figure 3.7), la caméra est à gauche et à droite l'objectif Kaléidoscopique. De gauche à droite nous avons, le système de récupération des images, le multiplicateur d'images, le plan intermédiaire (là où s'arrête un objectif normalement), la lentille principale.

Le système de récupération permet à n'importe quelle caméra plein format de récupérer l'image.

Le multiplicateur d'image va projeter les 9 sous-images.

Le plan intermédiaire représente là où s'arrête un objectif classique.

La lentille principale qui capture l'image avant sa multiplication.

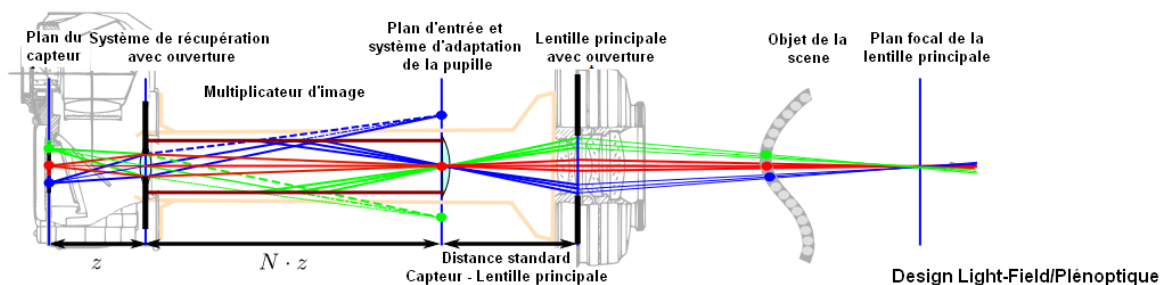


Figure 3.8 : Structure détaillée

Sur la *structure détaillée* (Figure 3.8) les chemins lumineux de couleurs différentes indiquent différentes directions de visée dans le plan d'entrée du système, qui correspondent au plan des microlentilles dans les caméras plénoptiques. La Figure 3.8 est présentée en 2D mais il ne faut pas oublier que le système de miroir est constitué de **4 miroirs parallèles deux à deux** formant ainsi un **prisme droit**.

3.3.1. Le multiplicateur d'image

L'effet du système d'imagerie par capteur est que $N \times N$ (3×3 dans notre cas) vues du **multiplicateur** sont **comprimées** à la taille d'une **image de capteur standard** qui est rendue accessible comme une **image réelle** dans le plan du **système de récupération**.

Selon l'optique géométrique, la relation entre le multiplicateur d'image N , z , le nombre de copies d'image N , et la distance focale du système de prise de vue f_{ps} est approximativement donnée par l'équation de la lentille mince :

$$1 \div z + 1 \div (N \cdot z) = 1 \div f_{ps} ; N \div (N + 1) \times z = f_{ps} \quad (3.1) \text{ cf. Figure 3.8}$$

Dans la pratique, cela signifie qu'une courte distance focale f_{ps} et un faible facteur de multiplication de l'image N conduisent à de courtes longueurs des multiplicateurs d'image.

Un autre aspect de la conception est **l'ouverture de l'objectif de la lentille du système de récupération**. Associée au **lobe du multiplicateur** (Plan d'entrée et système d'adaptation de la pupille), elle détermine **l'efficacité lumineuse du système**.

Par conséquent, il doit être choisi aussi grand que possible.

Notez qu'une grande ouverture pour le système de prise de vue n'implique pas une perte de qualité d'image puisque nous formons l'image d'un objectif plan (c'est-à-dire le plan d'entrée).

3.3.2. Sous échantillonnage de l'ouverture

Une difficulté est la nature divergente des images envoyées par la lentille principale au plan d'entrée, voire Figure 3.8.

Le problème est contourné avec une **lentille** posée sur le **plan d'entrée**.

L'opération miroir introduite par le multiplicateur d'images génère des points de vue virtuels. Ceux-ci sont à leur tour reproduits sur des régions stables de l'ouverture de l'objectif principal.

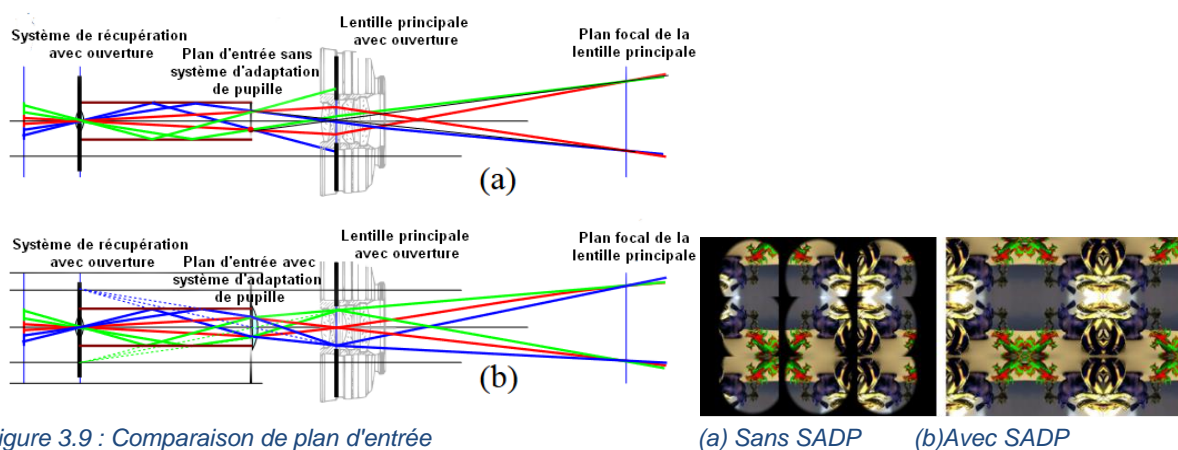


Figure 3.9 : Comparaison de plan d'entrée

(a) Sans SADP

(b) Avec SADP

Comme le montre la *comparaison de plan d'entrée* Figure 3.9), cela fait correspondre la pupille de sortie de l'objectif principal à la pupille d'entrée du système de prise de vue.

Il doit être conçu pour correspondre à l'angle maximal de la pupille de sortie de l'objectif principal.

Sur l'image de *comparaison de plan d'entrée* (Figure 3.9) nous avons à gauche l'image Kaléidoscopique sans le système d'adaptation de pupille et pour l'image de droite le système est équipé de ce système d'adaptation de pupille.

3.3.3. Ouverture du système de prise de vue

Une modification supplémentaire consiste à équiper le **système de récupération** d'une **ouverture**. De cette façon, la **profondeur de champ globale** des vues du champ lumineux peut être **régulée** au détriment de **l'efficacité lumineuse**.

Cette caractéristique permet un meilleur contrôle photographique de l'imagerie par champ lumineux qui n'était pas disponible auparavant.

3.3.4. Géométrie de l'imagerie

Nous obtenons un **ensemble de caméras virtuelles** dans le plan **d'ouverture de l'objectif principal**.

Ces caméras virtuelles sont disposées dans une configuration symétrique telle que prescrite par la géométrie du multiplicateur d'images qui est le générateur de l'ensemble des points de vue.

Les **caméras virtuelles** ont des **points de vue** qui **convergent** dans le **plan focal de l'objectif principal**. **Dans ce plan il n'y a pas de parallaxe entre les vues.**

Les objets hors du plan sont imagés avec une parallaxe positive ou négative selon qu'ils sont situés à l'avant ou à l'arrière du plan focal, voir Figure 3.8.

3.3.5. Conception du système de miroir

Le système de miroir est un **Kaléidoscope rectangulaire** dont les dimensions à l'origine lors du prototypage étaient de 36 mm x 24 mm x 300 mm réalisé par un artisan allemand *Karleidoskope GmbH*. (Dimensions du premier prototype)

Dans une mise en œuvre pratique, un **prisme rectangulaire** utilisant la **réflexion interne totale** peut être utilisé comme **multiplicateur d'image** précis ce qui est le cas comme vue précédemment, cependant dans ce prototype c'est une construction à la main et donc les miroirs peuvent ne pas être parfaitement parallèles et donc causer quelques imprécisions.

3.3.6. Utilisation de l'image Kaléidoscopique

Deux approches différentes sont utilisées pour traiter les images Kaléidoscopiques :

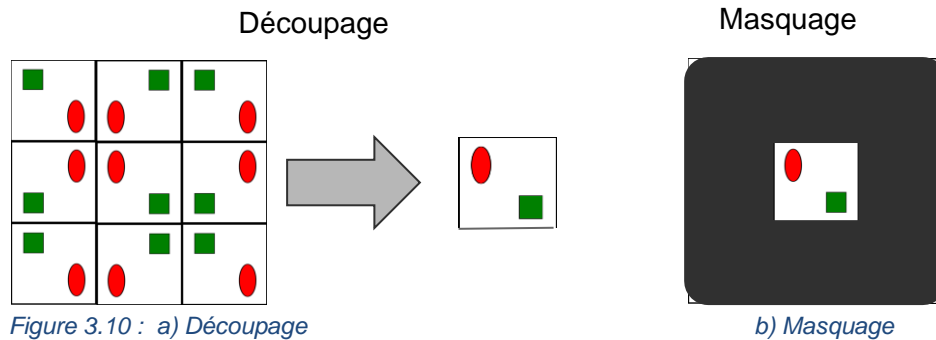
1. **Découpage et remise à l'endroit** (Figure 3.10.a)

Cette technique consiste à découper la sous-image qui nous intéresse et de la remettre à l'endroit selon les symétries qu'elle possède.

2. **Masquage** (Figure 3.10.b)

Cette technique consiste à ne rendre visible sur l'image uniquement la sous-image qui nous intéresse et sans la modifier, ainsi nous travaillons avec les dimensions réelles de l'image et nous gardons les propriétés Kaléidoscopiques.

Les deux approches seront utilisées par la suite.



3.4. Calibrations [17]

3.4.1. Classiques [18] [19]

La calibration est nécessaire pour la **correspondance 3D** (en mm) dans le domaine réel et sa **projection 2D** sur l'image (En pixel).

La calibration permet d'estimer 2 types de paramètres :

1. Paramètres internes

La **distance focale**, **centre optique**, coefficient de distorsion radiale

2. Paramètres externes

Orientation de la caméra, la **rotation** et **translation** qui respectent le domaine réel

La correspondance est souvent faite avec des damiers comme sur la Figure 3.11 avec l'image de gauche, la représentation d'un damier.

Grâce à cela nous focalisons facilement les points qui sont l'intersection entre 2 carrés blancs et 2 carrés noirs. De plus, nous connaissons la vraie taille des carrés ainsi que le nombre de carrés.

Ces données du damier sont données en paramètres lors des calibrations.

La calibration consiste donc à prendre en photo un élément reconnaissable avec des dimensions réelles qui sont connues comme un damier et à prendre des images de cet objet sous différents angles et distances.

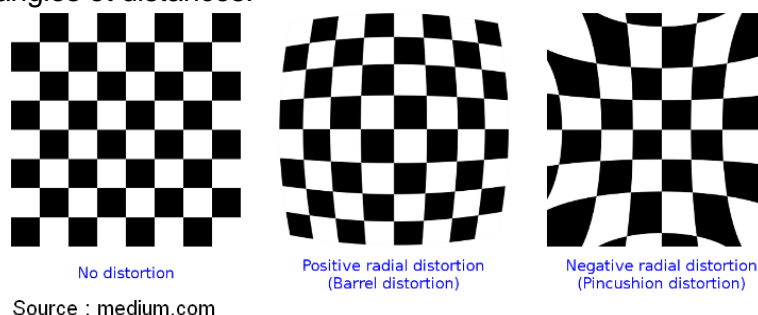


Figure 3.11 : Distorsions

La calibration permet aussi de régler les problèmes de distorsion, si vous avez déjà regardé à travers un Judas optique nous pouvons observer une déformation, les différentes formes qui existent sont présentes sur la Figure 3.11 et la calibration permet de trouver les caractéristiques pour avoir son correspondant sans distorsion.

Dans notre cas la distorsion sera très faible avec notre objectif et notre caméra car l'angle de vue est très faible (25 degrés).

Au niveau mathématique, la calibration nous renvoie une matrice de projection de taille 3×3 qui est appelée une **matrice intrinsèque** qui permet la projection dans le domaine réel et des **matrices extrinsèques** qui sont la composition de la matrice de **rotation** et de **translation**.

Si nous voulons utiliser plusieurs caméras ensemble pour divers traitements dont des calculs de disparités, nous pouvons utiliser les résultats de calibration pour faire une calibration commune.

Dans le cas de deux caméras, cela s'appelle une **calibration stéréo** qui consiste à trouver la relation de rotation et translation entre les deux caméras.

3.4.2. Kaléidoscopique

Dans le cas du découpage vu précédemment avec la Figure 3.10 le calibrage est simple, cela consiste à faire 9 calibrages, une pour chaque sous vue de l'image.

Dans le cas du masquage (ou nous ne remettons pas les vues à l'endroit) c'est un peu plus compliqué, les fonctions de calibration n'étant pas conçues pour des images avec des symétries nous avons donc dû nous adapter.

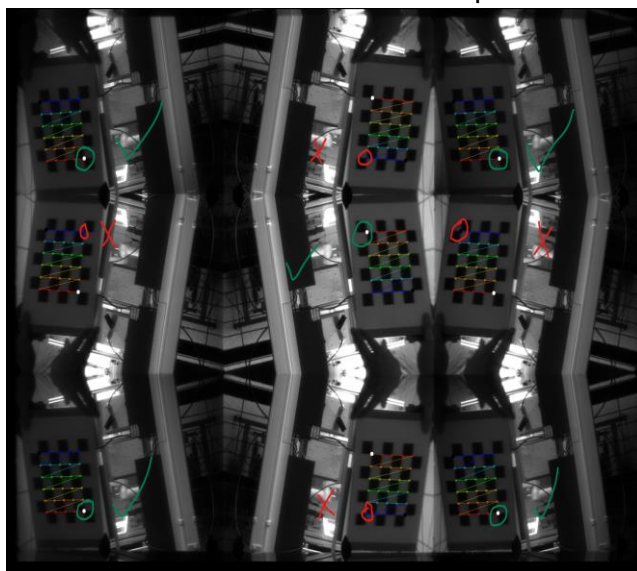
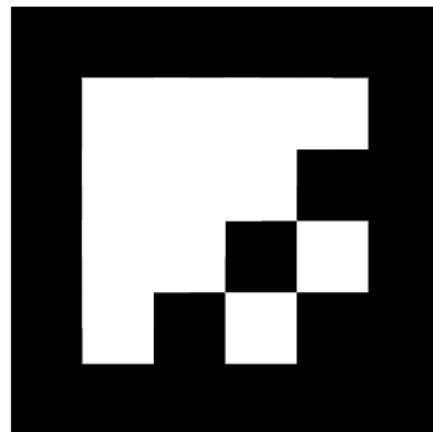


Figure 3.12 : a) Détection des coins du damier



b) Marqueur Aruco

Le test de détection des coins du damier (Figure 3.12.a) consiste à afficher en blanc l'**origine du damier** qui est un point précis détecté durant la calibration et qui doit respecter les symétries.

La *détection des coins* (Figure 3.12.a) montre que selon les vues, la détection du damier n'est pas correctement réalisée sur les images qui sont une symétrie simple, sur les symétries double la détection est correctement réalisée, voir la Figure 3.5 *pour comparer*.

C'est pourquoi nous avons décidé d'utiliser un damier avec marqueur unique voir Figure 3.12.b, ce qui permet aux fonctions de ne pas se tromper sur les symétries en théorie. Ce genre de damier est appelé Charuco, ce sont des damiers avec marqueurs Aruco.

Les marqueurs Aruco sont des formes créées à l'aide de carré blanc et noir dans des dimensions carrées, en général de dimension 4x4, 5x5 ou 6x6.

Chaque case du damier initialement blanc est remplacée par un marqueur Aruco unique qui n'apparaît qu'une seule fois sur le damier, autour du marqueur un espace blanc est laissé pour laisser une frontière entre les carrés noir du damier et les marqueurs Aruco.

Nous pouvons voir sur cette figure que les marqueurs ne sont pas détectés sur les symétries simples sauf les marqueurs symétriques sur l'axe X et Y (Figure 3.13.a), mais cela fonctionne avec les sous vues avec double symétries.

Il nous a donc fallu créer notre propre damier avec nos symboles symétriques à la fois sur l'axe X et Y (Figure 3.13.b) et qui permette une détection fonctionnelle des damiers sur les vues symétriques.

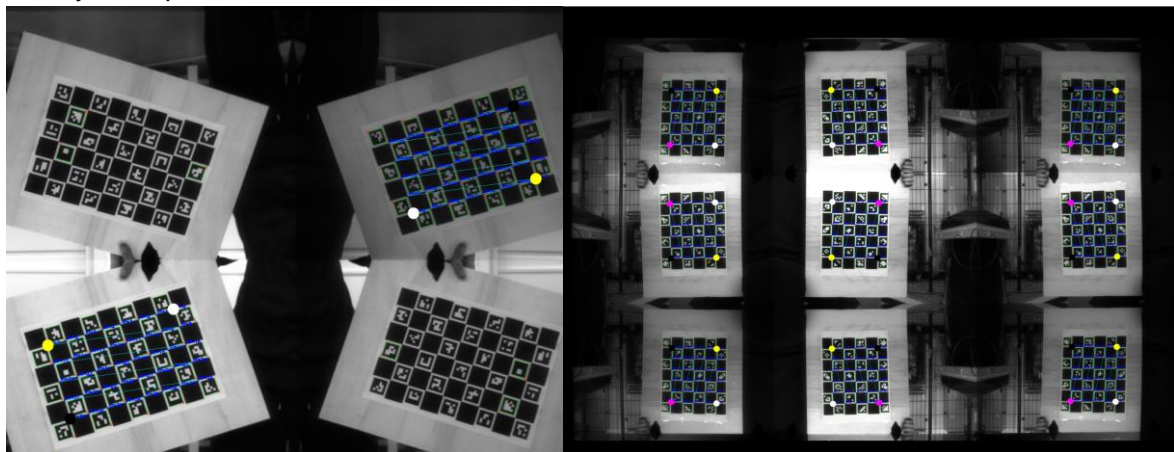


Figure 3.13 : a) Détection Charuco non fonctionnel b) Détection Charuco fonctionnel

Les calibrations sont utilisées pour tous les traitements qui vont suivre et dans les cas où les images sont remises à l'endroit avant traitement un damier classique peut toujours être utilisé.

- Calibration avec K|Lens

L'entreprise K|Lens a développé sa propre manière de calibrer, en effet ils ont créé des bibliothèques en Python et Cplusplus qu'ils utilisent pour créer leurs programmes dont une partie est libre d'utilisation.

Avec leurs bibliothèques, ils ont créé différents logiciels dont le logiciel SeeDeep dont nous avons une ancienne version.

Pour traiter les images Kaléidoscopiques avec leurs logiciels et/ou bibliothèques il est nécessaire de calibrer le kaléidoscope avec leur outil de calibration (exécutable sous cmd), celui-ci nous demandera de prendre une photo d'une grille fournie par l'entreprise de manière à ce que la grille remplisse toutes les sous-images Kaléidoscopiques voir Figure 3.14.

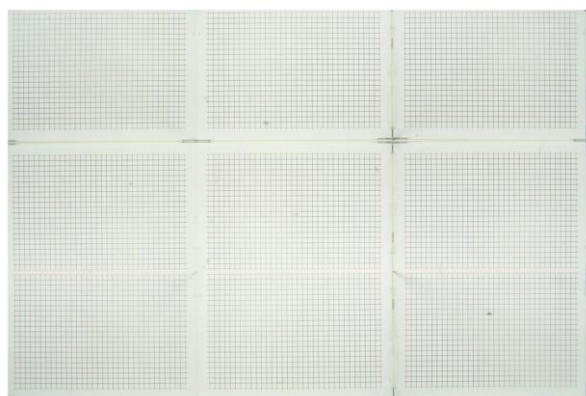


Figure 3.14 Grille de calibration

Une fois la calibration effectuée un fichier est généré et utilisable dans les programmes et logiciels de K|Lens, il contient les informations de calibrations nécessaires à leurs utilisations. Etant propres aux technologies K|Lens nous n'utilisons pas ce fichier en dehors du cadre de l'utilisation de leurs bibliothèques et logiciels.

- Conclusion sur les calibrations

Pour les calibrations Kaléidoscopiques nous avons vu plusieurs manières de calibrer dont chacune est nécessaire dans un cas particulier :

Utilisation	Méthode de calibration
Logiciels/Librairies K Lens	Calibration K Lens avec grille
Sous images remises dans le même sens	Calibration avec damier Classique
Sous images avec le sens d'origine	Calibration avec damier Charuco

- Prise d'images à différentes profondeurs

En plus de prendre des images de calibration, c'est-à-dire des images du damier sous différents angles et distances, il a fallu prendre des images pour vérifier les calibrations.

Nous avons utilisé un **convoyeur** (ou tapis roulant) sur lequel est posé un damier et pris des images avec un intervalle connu, de ce fait nous connaissons la distance qu'a parcouru le damier entre deux images. Ce dispositif a d'abord été vérifié avec une caméra simple.

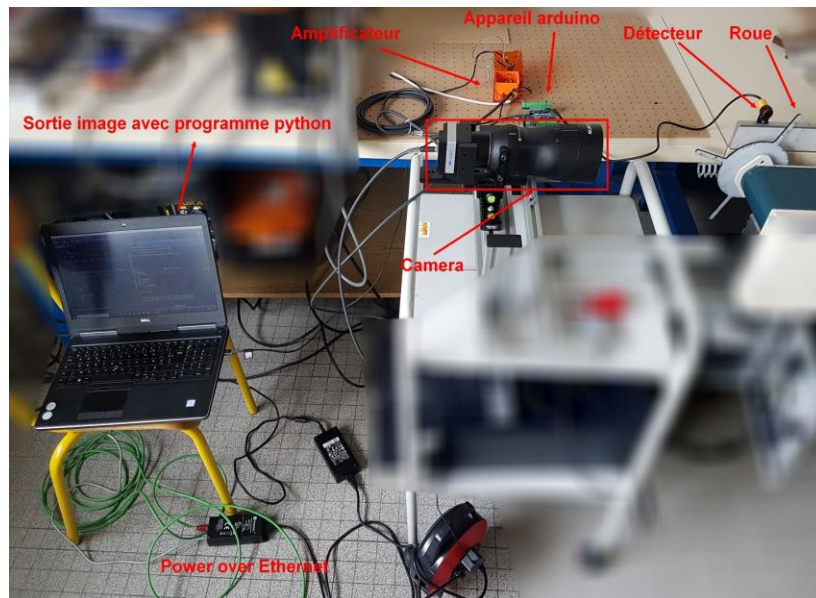


Figure 3.15 : Configurations partie 1

Éléments figurant sur la Figure 3.15 - Configurations partie 1

- L'ordinateur sur lequel tourne un programme Python qui utilise l'appareil Arduino et la caméra.
- Le système "power over Ethernet" qui alimente la caméra et envoie les images vers l'ordinateur, le câble Ethernet est utilisé au lieu du câble USB car cela permet d'envoyer plus d'informations.
- Le **décteur** permet de détecter lorsqu'un objet est devant.
- La **roue** qui tourne et qui possède des pales qui passent à intervalle régulier devant le détecteur.
- L'amplificateur qui augmente l'intensité du signal Arduino pour pouvoir déclencher une prise d'image sur la caméra.

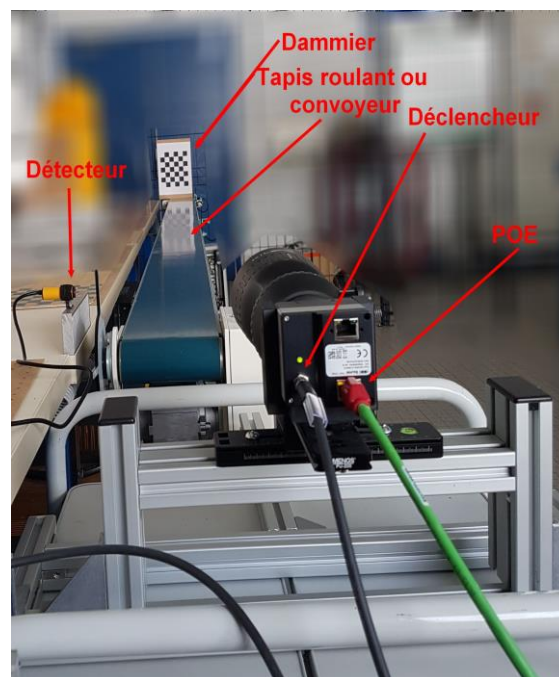


Figure 3.16 : Configurations partie 2

Éléments figurant sur la Figure 3.16 - Configurations partie 2

- Le **déclencheur** qui, dès lors qu'il reçoit un signal électrique permet à la caméra de prendre une image s'il est en mode faire des images par impulsion.
- Le tapis roulant ou **convoyeur** qui avance de manière proportionnelle par rapport au temps.
- Le damier qui dans notre cas avance de 10 cm entre chaque déclenchement par les pales.

Principe de fonctionnement (voir Figure 3.17) :

- Nous posons un damier au fond du convoyeur de manière **parallèle à la caméra**
- Puis nous mettons en marche le convoyeur qui fait **avancer le damier** vers nous,
- La palle fixée au convoyeur **tourne de façon régulière** en même temps que le convoyeur avance
- Cela implique que le détecteur **envoie un signal** électrique à chaque fois que la palle se positionne devant
- Un signal est envoyé jusqu'au déclencheur qui va notifier notre programme qui va **prendre une image** à ce moment-là.

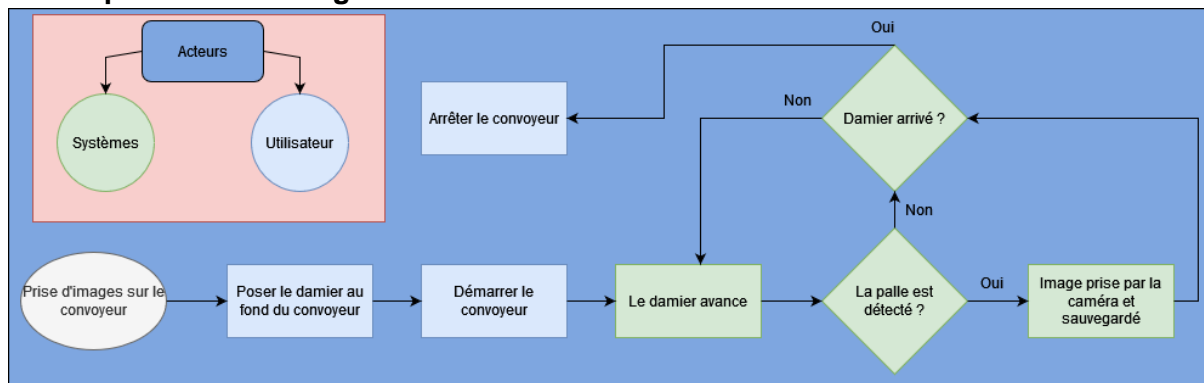


Figure 3.17 Diagramme du processus de prise d'images sur le convoyeur

Sur la Figure 3.19 nous avons fait le calcul successif des distances des damiers pour chaque sous-image (Graphiques du dessus) prise au fur et à mesure que le damier avance ainsi que le pas entre deux images (Graphiques du dessous).

Avec la technique du découpage (Figure 3.19.a) nous avons calibré chaque sous-image individuellement et nous avons fait le calcul de distance pour chaque sous-image, ces résultats ont été obtenus après découpage et remise à l'endroit des images (voir Figure 3.18).

Avec la technique du masquage (Figure 3.19.b) nous n'avons fait aucun traitement de découpage et remise à l'endroit, nous avons travaillé sur l'image telle quelle en affichant uniquement la sous-image voulue à chaque fois (voir Figure 3.18).

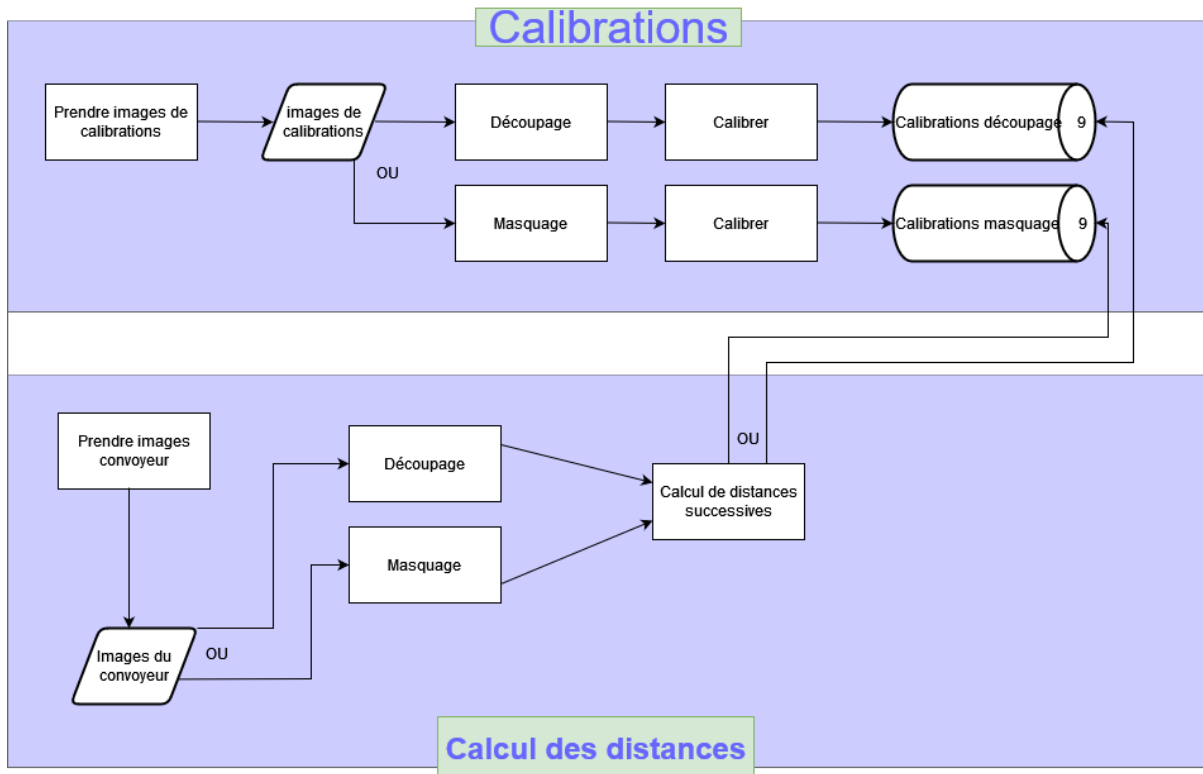


Figure 3.18 : Diagramme

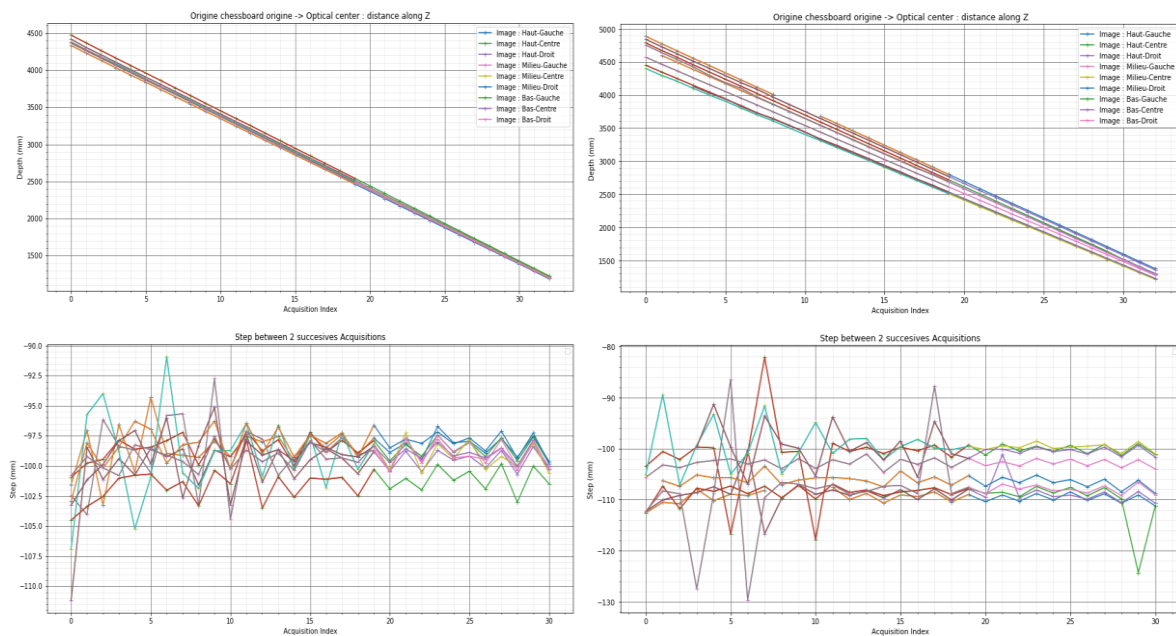


Figure 3.19 : a) Résultats avec découpage

b) Résultats avec masquage

Étant donné que :

- Le damier avance de **10 cm** entre chaque déclenchement envoyé par le capteur qui détecte les pales
- Le damier est parallèle à la caméra,

Nous pouvons calculer la distance entre la caméra et le damier pour chaque image, la différence devrait être de 10 cm entre deux images successives.

À noter qu'ici nous pouvons calculer la distance car nous connaissons la taille des carreaux sur le damier qui se trouve pile en face de la caméra, et donc nous n'avons pas réalisé de calculs de disparités, uniquement le résultat de la calibration est utilisé.

Ainsi nos résultats sont en cohérence avec la réalité car le pas examiné dans la Figure 3.19 avec les graphiques du dessous sont bien de 10 cm (Plus ou moins pour chaque sous images).

Nous en déduisons que nous savons calculer une distance à partir de nos calibrations avec une précision de 90% dans le pire cas pour le moment qui est le masquage.

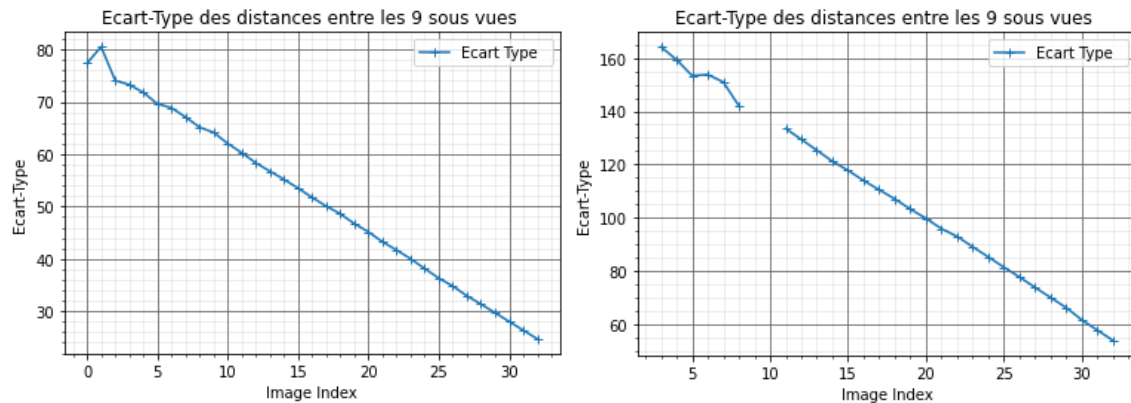


Figure 3.20 : Ecart type distances entre 9 sous vues découpage à gauche et masquage à droite

S'ajoute à cela la donnée de l'écart-type (Figure 3.20) des distances. C'est la différence moyenne entre la distance des 9 sous-images du capteur, qui confirme qu'une méthode est légèrement plus précise que l'autre, nous pouvons voir que cet écart est 2 fois plus grand avec le masquage.

Certes la calibration avec Charuco permet de calibrer des vues renversées, le fait que les marqueurs tiennent sur un carreau nous contraint à être plus rigoureux au niveau des calibrages et l'erreur qui en suit vient de notre calibrage.

3.5. Conclusion

Nous avons vu comment fonctionnait une caméra puis nous avons fait le panorama des solutions existantes pour la calculer la profondeur.

Nous avons partagé les différentes informations que nous avons trouvé sur notre caméra que ce soit en recherche d'informations pure ou en expérimentant.

Nous ne savons pas encore tout de la caméra mais bien assez pour commencer des essais et c'est pourquoi dans la partie finale qui est la suivante nous parlerons de toutes nos expérimentations qui ont eu pour objectif final de calculer des profondeurs.

4. Expérimentations pour le calcul de profondeurs

Nous allons maintenant parler de plusieurs expérimentations que nous avons essayé de mettre en œuvre. L'entreprise K|Lens possède ses propres algorithmes dont la plupart proviennent d'intelligence artificielle à base de modèle entraîné, de notre côté nous avons essayé de travailler sur des techniques bien plus simplistes et moins lourdes.

Disparités

Pour commencer nous avons essayé de considérer les vues comme sur le modèle stéréo en travaillant avec les sous vues deux à deux. Le problème étant que la nature des images Kaléidoscopiques n'est pas la même que des images stéréo.

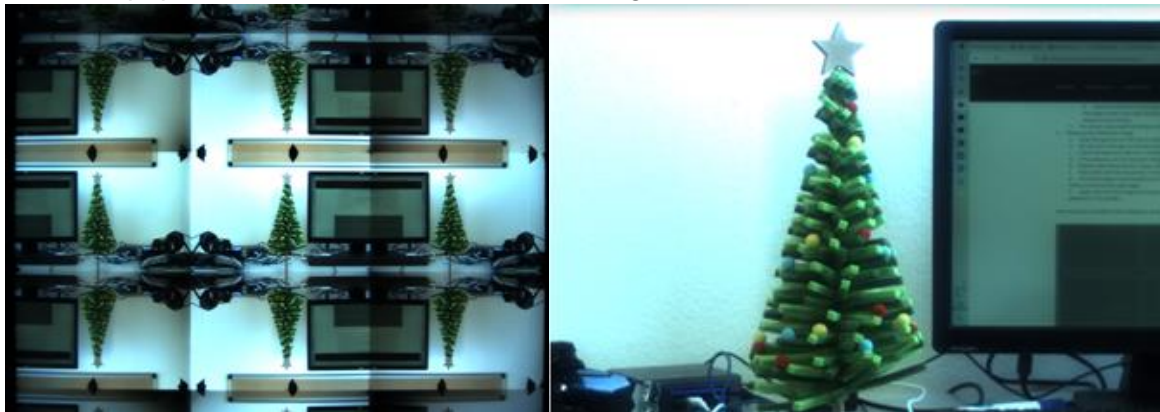


Figure 4.1 : a) Image Kaléidoscopique

b) Image de la Scène

Nous avons réussi à faire de la disparité avec des images Kaléidoscopiques fournies par l'entreprise, déjà découpées en 9 et bien rectifiées, ce que nous remarquons c'est que la disparité augmente avec la profondeur ce qui est l'inverse dans un cas stéréo classique.

Nous avons pris une de nos images (Figure 4.1.a) Kaléidoscopique que nous avons découpé avec le logiciel SeeDeep, le logiciel découpe les images en enlevant les zones où il y a des pertes.

Le logiciel nous renvoie les 9 sous-images découpées et dans le même sens. A l'envers dans notre cas car le logiciel préfère modifier le sens de la vue centrale et de ses voisins directs car cela implique uniquement 6 opérations de changement de sens (une par symétrie) pour être dans le même sens.

Si nous voulions mettre toutes les images dans le même sens que la sous image centrale cela aurait demandé 12 opérations de changements de sens (soit le double). Voir Figure 3.5.

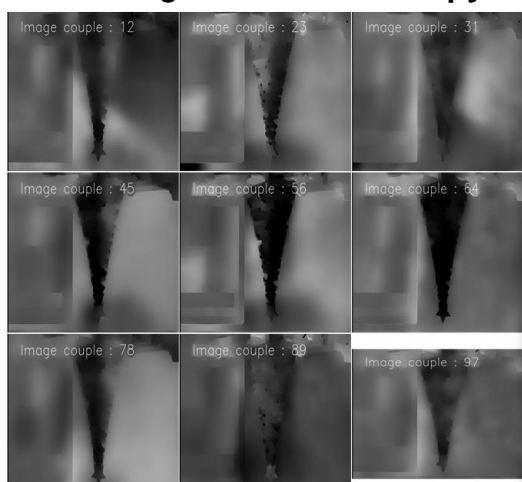


Figure 4.2 : a) Profondeur provenant du logiciel SeeDeep b) 9 Disparités possibles provenant d'algorithme Stéréo

Nous avons pu estimer des profondeurs avec le logiciel SeeDeep comme nous pouvons le voir sur la Figure 4.2.a à l'aide de nos propres images (L'algorithme en question qui est sur SeeDeep n'est pas présent sur la bibliothèque python de K|Lens).

Nous avons estimé des disparités avec les algorithmes stéréo en python (Figure 4.2.b) et avec les sous-images provenant de SeeDeep, la librairie Python de K|Lens, nous pouvons voir des résultats qui collent ensemble ce qui est bon signe.

Avec images rectifiés code python



Avec images rectifiés par SeeDeep

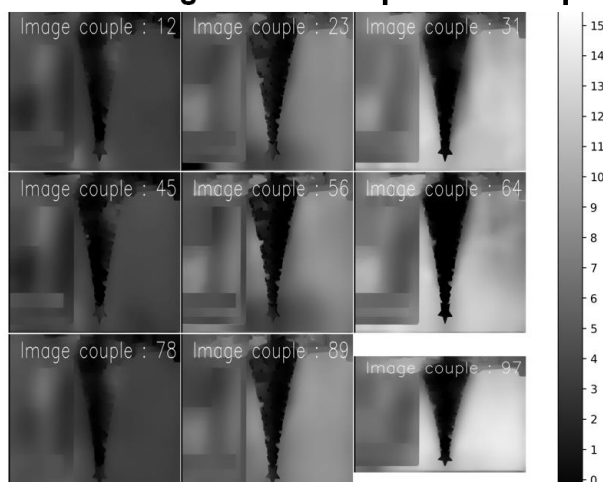


Figure 4.3 : a) Comparaison des disparités en fonction de la provenance des sous images (affichage de la sous image en bas à droite bogué et du coup plus petite).

De plus nous avons comparé le traitement des images provenant du découpage de la librairie Python et entre les images provenant du découpage avec le logiciel SeeDeep (Figure 4.3), l'algorithme pour calculer les disparités est le même dans les deux cas et les couples sont identiques.

Malheureusement dans le cas du code Python nous n'avons pas d'images correctes qui sont générées ce qui crée énormément de bruit dans le calcul de disparités. Donc le problème est que ne nous n'avons pas pu utiliser la bibliothèque python fournie par l'entreprise K|Lens.

Nous avons essayé de faire des disparités en découpant les images sans les découper et les corriger avec SeeDeep ou la librairie Python de K|Lens.

De cette façon il n'y a aucune correction effectuée et de ce fait les algorithmes de « correspondance » ont du mal à trouver un point et son correspondant dans une autre sous image à cause des différences de contrastes, **en effet la rectification par K|Lens enlève le contraste entre les sous images.**

Ce que nous pouvons confirmer comme vu précédemment dans l'étude de la caméra, c'est que les disparités dans un cas Kaléidoscopique sont **proportionnelles** à la profondeur contrairement aux stéréos où c'est inversement proportionnel et elles sont **négatives** ou **positives** selon la position du focus.

Les disparités ont été testées avec 3 façons de générer les sous images :

Logiciel SeeDeep	Librairie Python K Lens	Découpe brute
Bon résultat	Résultat bruité	Résultat très mauvais

Finalement, c'est seulement avec le logiciel SeeDeep que nous avons pu avoir des disparités cohérentes, cependant nous aurions voulu que la librairie python fonctionne pour avoir le découpage fonctionnel inclus dans du code.

C'est pourquoi nous avons essayé d'autres moyens d'évaluer la profondeur, nous allons par la suite discuter de deux méthodes que nous avons essayé de mettre en place.

4.1. Reprojection avec un miroir

Cette première méthode que nous appelons reprojection d'un point en 3D avec un miroir consiste à utiliser les propriétés des miroirs plats en utilisant l'image réelle et l'image formée par le miroir.

Nous étudierons la méthode dans un cas classique avec une caméra monoculaire puis nous ferons un portage sur le caméra Kaléidoscopique qui est naturellement composée de miroir et c'est pourquoi cette méthode est intéressante.

4.1.1. Cas classique

Sur le modèle de reprojections (Figure 4.4) nous avons une caméra en face d'un miroir posé à plat, le rayon i_1 en direction du point de la mire, le rayon i_2 en direction de la mire virtuelle, le rayon réfléchi r_1 en direction de la mire. θ_i et θ_r respectivement les angles de i_2 et r_1 , ces deux angles sont identiques selon la loi de la réflexion par rapport à un plan miroir, c'est la normale du miroir.

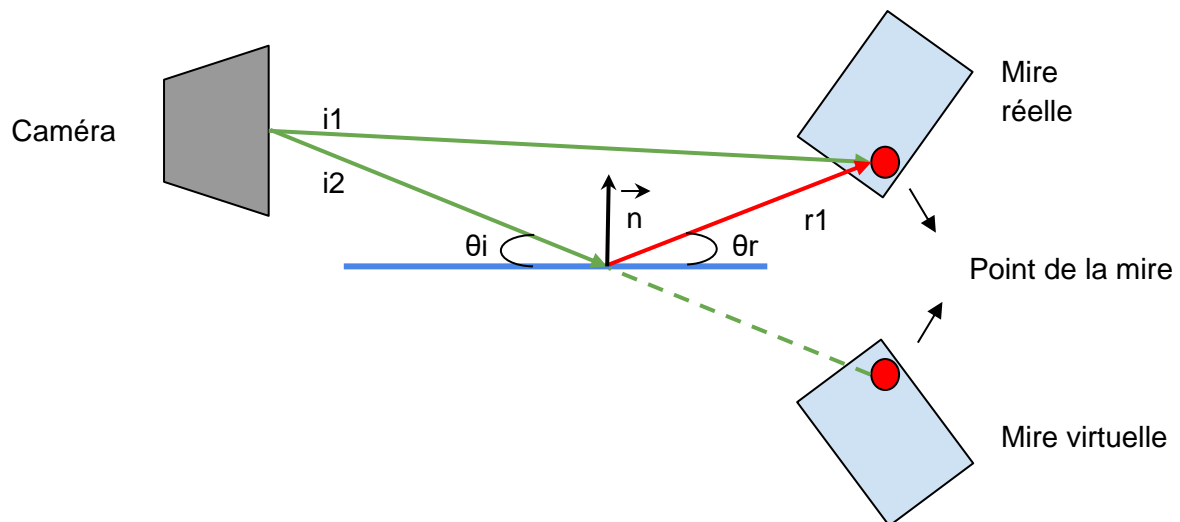


Figure 4.4 : Modèle de reprojection avec un miroir

$i1, i2, r1$ et n sont des vecteurs.

C'est l'intersection entre $i1$ et $r1$ qui nous intéresse.

La relation pour calculer la direction du rayon réfléchi est donnée par [20] (4.1) :

$$r1 = i2 - \frac{2 * (i2 * n)}{n}$$



Figure 4.5 : Etapes calculs

Le principe consiste tout d'abord à calculer la position du miroir dans l'espace 3D, il nous suffit de faire des images de calibration pour le damier réel et une autre calibration pour la mire virtuelle qui est visible dans le miroir.

Pour chaque point connu d'une calibration nous avons son correspondant dans l'autre calibration, sachant cela et que la distance entre l'objet virtuel et le miroir est identique à la distance entre l'objet réel et le miroir et que, de plus leurs proportions sont identiques [21] .

Nous avons calculé les points du plan du miroir qui sont bêtement égaux à $(P1+P2) / 2$ pour chaque point de la mire réelle et virtuelle.

Puis à l'aide de ces points nous avons calculé un plan.

Comme nous avons plusieurs images de calibrations nous avons moyenné tous les plans pour avoir un plan moyen qui serait utilisé tout le temps sans avoir besoin de le recalculer.

L'étape suivante consistait à utiliser ce miroir, tout d'abord nous lançons un rayon jusqu'au point de la mire réelle, puis un autre rayon jusqu'à la mire virtuelle.

Nous calculons le point d'intersection de ce rayon avec le miroir, puis nous calculons le rayon réfléchi calculé selon la loi de la réflexion [22] qui permet de déduire la relation vue précédemment (4.1).

Ainsi, avec le rayon en direction du point de la mire réelle et le rayon réfléchi calculé à partir du rayon en direction de la mire virtuelle nous cherchons le point le plus proche entre ces deux rayons.

De ce fait nous avons les coordonnées du point dans l'espace et donc sa profondeur, les différentes étapes sous forme simplifiée sont sur la Figure 4.5.

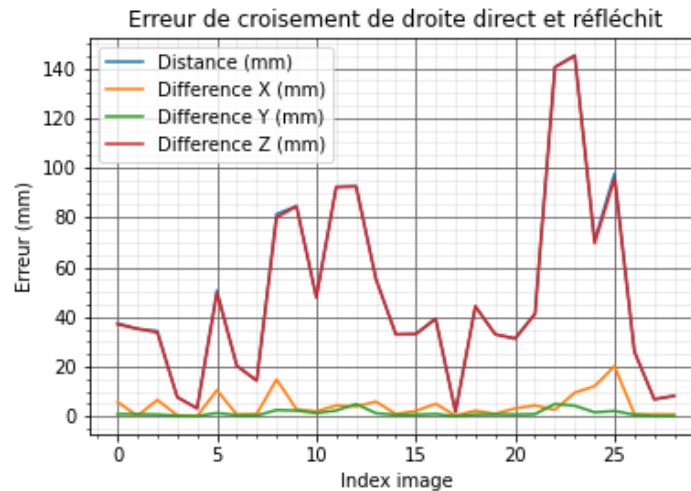


Figure 4.6 : Résultats des croisements des droites

Ci-dessus (Figure 4.6) nous avons nos résultats avec le miroir moyen sur ce modèle, nous constatons surtout une erreur sur la profondeur calculée jusqu'à 14 cm d'écart.

En effet pour chaque image nous avons le point de croisement des deux rayons (rayon direct et réfléchi).

Nous connaissons les vraies coordonnées du point, ainsi nous avons pu calculer les différences sur les 3 axes ainsi que la distance euclidienne (idem que la différence sur Z ici).

À noter que l'angle du miroir trouvé est de 1° proche de la valeur 0 que nous cherchions à avoir.

4.1.2. Cas kaléidoscopique

Pour un cas Kaléidoscopique nous reprenons le même principe avec la vue centrale comme référence comme damier réel et les vues voisines directes (avec les vues de côté, le miroir serait vertical et proche de 90°).

Nous utilisons le masquage pour travailler sur nos images ici.

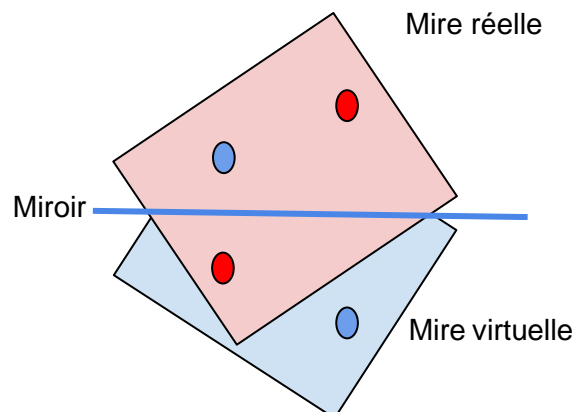


Figure 4.7 : Positions mires et miroir

Nous avons calibré les sous-images puis nous avons remarqué comme le montre la Figure 4.7 que les mires étaient projetées au même endroit dans l'espace 3D et donc que le miroir calculé passe à travers les mires.

De plus, les points de la mire réelle et virtuelle étant très proches, cela donne des erreurs bien plus grandes au niveau des résultats.

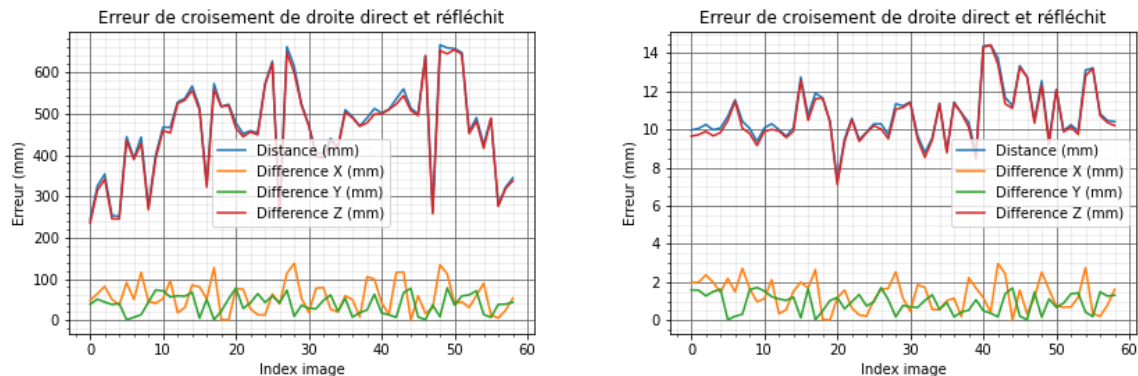


Figure 4.8 : a) Résultats des croisements des droites b) Résultats des croisements des droites avec décalage

Sur la Figure 4.8.a avec les résultats qui concernent l'image Kaléidoscopique (sous-images du haut et du centre), nous avons une erreur énorme comme expliqué plus tôt, pour le prouver il suffit de décaler un des plans pour qu'ils soient moins proches.

Sur la Figure 4.8.b nous avons juste décalé le plan et cela permet d'avoir des résultats bien plus satisfaisants, le miroir moyen calculé est donc plus éloigné et les coordonnées projetées de la seconde mire sont fausses.

Cependant, les coordonnées dans l'espace 3D de la première mire restent justes et donc cohérentes mais se basent à moitié sur des données non-réelles.

À noter que si nous ne décalons pas une des deux vues, nous pouvons inverser le modèle et essayer de calculer l'intersection avec le miroir du rayon réel et calculer l'intersection du rayon réfléchi avec le rayon en direction du point de la mire réelle.

Cette méthode peut être faite avec les doubles symétries mais sans utiliser l'image centrale.

Pour faire simple voir Figure 3.5 nous pouvons faire cette méthode avec les sous-images de couleur :

- Vert et Bleu
- Vert et Violet
- Rouge et Bleu
- Rouge et Violet

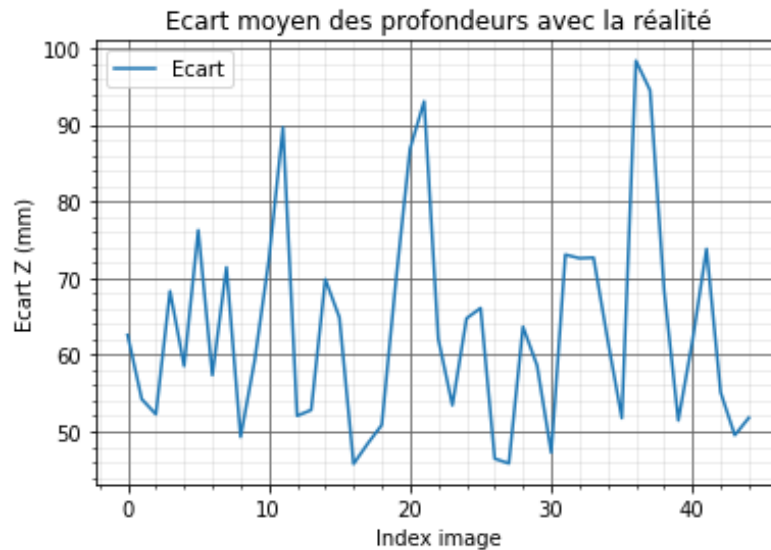


Figure 4.9 : Ecart moyen des profondeurs (vue centrale avec les 4 symétries simple) avec la réalité dans le cas où le second plan est décalé

Les calculs ont été faits avec la vue centrale et tous ces voisins directs, cela a permis de calculer 4 miroirs, dans les 4 cas les vues voisines ont été décalées pour avoir un miroir plus éloigné et avoir des résultats plutôt corrects, nous avons calculer l'écart moyen avec la profondeur réelle et obtenu une erreur moyenne jusqu'à 10 cm (Figure 4.9).

4.2. Inversion des vues

Cette seconde méthode utilise toujours un miroir mais ici nous n'allons pas utiliser les propriétés du miroir plat mais plutôt des caméras stéréo, en effet nous allons considérer notre système comme étant composé de plusieurs (une pour chaque sous images).

Nous étudierons le cas classique puis Kaléidoscopique comme avec la méthode précédente.

4.2.1. Cas classique

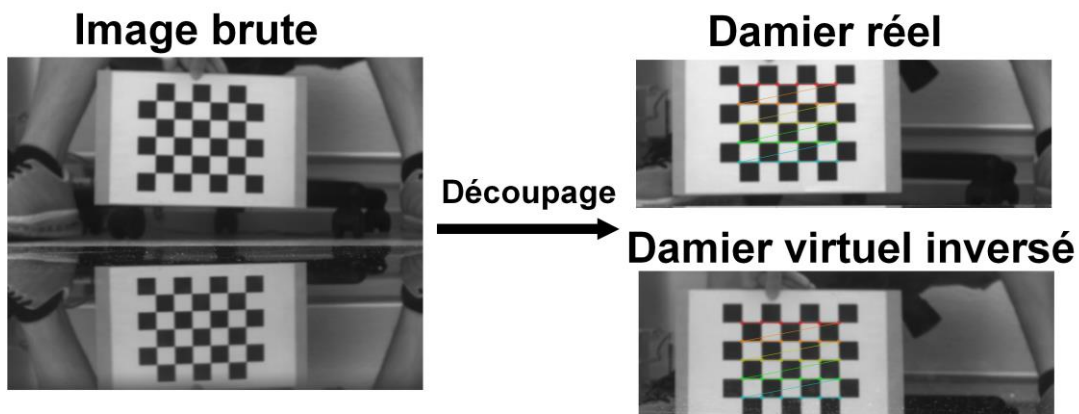


Figure 4.10 : Transformations

Dans le cas classique nous découpons l'image par rapport au miroir et nous rognons l'image la plus grande sur la hauteur pour que les deux images soient de même taille puis pour l'image avec le miroir nous inversons l'image, exemple sur la Figure 4.10.

Une fois les transformations effectuées nous faisons une calibration pour les deux jeux d'images.

Pour finir nous effectuons une calibration stéréo entre les deux calibrations et nous récupérons la Rotation et Translation entre les deux jeux d'images qui forment la relation entre la caméra réelle et virtuelle respectivement formées par les deux découpages.

Les deux découpages permettent d'avoir un jeu d'image avec les damiers réels et un jeu d'image avec les damiers virtuels et inversés formés sur le miroir.

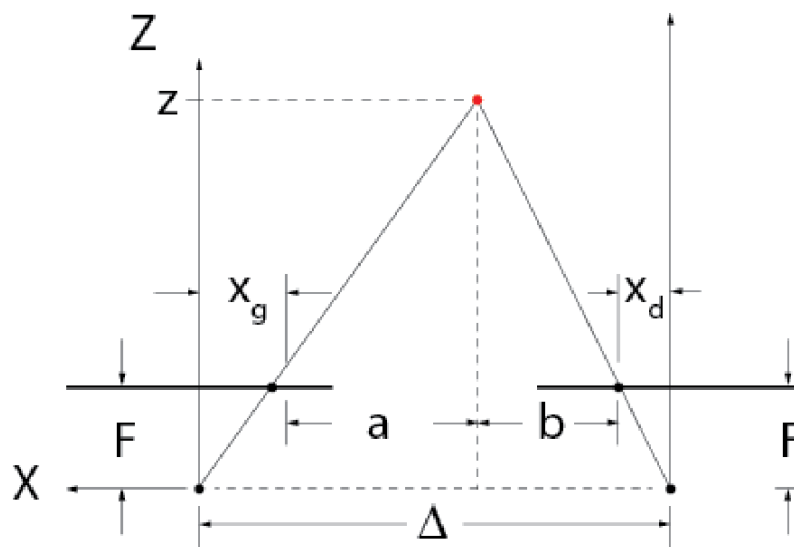


Figure 4.11 : Modèle de triangulation avec deux caméras parallèles

Sur la Figure 4.11 nous avons : F la focale, Xg et Xd les distances respectives entre les centres optiques et les points sur les capteurs images sur chacune des deux caméras, Δ la distance entre les deux caméras (Baseline).

Grâce à Thalès nous avons la relation : $z = \frac{\Delta F}{d}$ (4.1) ou $d = x_g - x_d$ (4.2)

Si nous faisons la calibration stéréo entre les images du damier réel et du damier virtuel inversé comme sur la Figure 41 nous avons une translation de -36 mm sur l'axe Y mais aussi une translation de 6 mm sur l'axe Z et donc les deux caméras calculées ne sont pas parfaitement parallèles.

La profondeur Z est donc beaucoup moins précise car le modèle présent sur la Figure 4.11 a pour prérequis deux caméras parallèles.

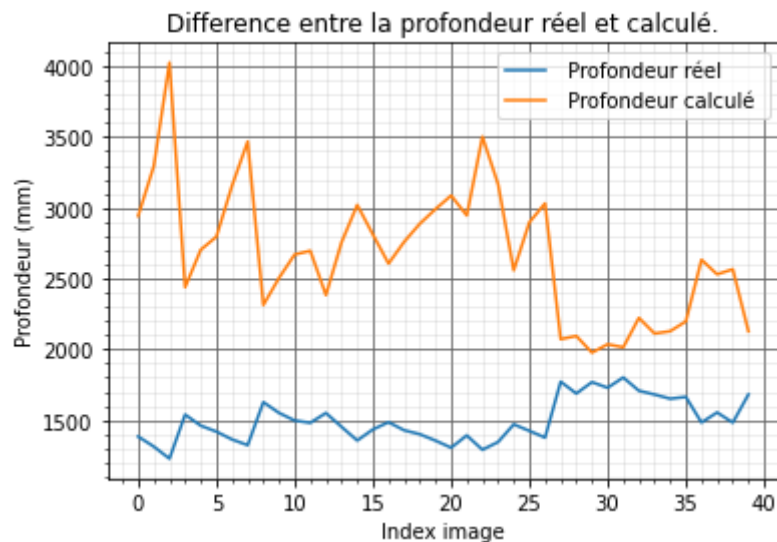


Figure 4.12 : Résultats de triangulation sur une caméra monoculaire

Comme le prouve la Figure 4.12 nos résultats ne sont pas assez concluants pour pouvoir continuer sur cette piste, en effet la translation ne respecte pas le modèle annoncé et les résultats sont la preuve supplémentaire que cela cause des soucis.

Sur ce modèle il est préférable d'avoir des grandes Baseline car cela joue fortement sur la précision.

Une petite erreur de calcul peut mener à de grandes erreurs d'estimations.

4.2.2. Cas kaléidoscopique

Dans le cas Kaléidoscopique nous aurions fait exactement la même chose mais nous aurions un choix à faire entre les 9 sous-vues, nous utiliserions celle du centre en premier et une autour en deuxième.

Nous avons quand même regardé les translations et là aussi nous obtenons des légères translations sur l'axe Z ce qui indique que les caméras ne sont pas parfaitement parallèles, ces erreurs peuvent éventuellement être dues aux erreurs de calibrations qui certes sont légères mais peuvent impacter des calculs très précis.

Translation								
X			Y			Z		
3,99	-0,04	-6,04	3,74	3,52	3,6	0,04	-0,74	-1,78
3,61	0	-5,97	-0,04	0	0,04	-3,06	0	-2,21
4,27	-0,02	-6,39	-2,94	-2,94	-3,03	0,82	0,02	-0,34

Figure 4.13 : Translation de toutes les sous images avec l'image centrale

Comme nous pouvons le voir sur la Figure 4.13 les translations sont cohérentes, les rotations quant à elles sont toutes très proche de la matrice identité ce qui traduit des angles de rotations proche de 0° sur les 3 axes.

Mais les translations sur Z sont bien présentes.

5. Conclusion

Durant ce stage j'ai eu le plaisir de travailler dans un domaine où la physique et la vision interviennent, ainsi je suis sorti de l'informatique pure pour faire des manipulations et ai travaillé sur des aspects scientifiques liés aux caméras notamment.

Certes ce fut dur pour moi car je n'avais des connaissances qu'en informatique en arrivant, et depuis lors j'ai beaucoup appris en vision et manipulations.

J'ai aussi appris à effectuer des recherches scientifiques à travers des articles bien plus techniques que ce que j'ai l'habitude de lire, cela constitue en partie les nombreuses découvertes faites sur notre caméra.

En effet, nous avons beaucoup appris sur notre caméra, soit par nos recherches à travers la lecture, soit par nos recherches à travers les différents tests faits à la main ou avec la machine.

Nous avons essayé plusieurs méthodes pratiques pour commencer à calculer ou à estimer des profondeurs, malheureusement de ce côté-là, sûrement dû à mon manque d'expérience, je n'ai pas réussi à faire fonctionner une seule méthode.

Pourtant ces méthodes sont prometteuses, je pense vraiment que les méthodes vues plus tôt peuvent fonctionner mais je n'aurai pas la satisfaction de les faire fonctionner par moi-même.

Mes précédents stages étaient dans des entreprises où il n'y avait qu'un seul employé et qui faisait office de client, pour ma part ma plus grande joie fut de ne pas travailler seul, en effet j'ai pu côtoyer une dizaine de personnes chaque jour.

Je peux dire que j'ai été heureux d'effectuer mon stage dans l'équipe ASI car j'étais bien entouré, non pas seulement par des personnes dotées d'expérience et de savoir mais aussi très sympathiques.

Ma plus grande satisfaction personnelle sur ce stage est d'avoir passé du temps avec mes collègues tout autant professionnellement qu'amicalement, néanmoins même si l'aspect social passe avant tout pour moi, j'ai tout de même essayé d'être volontaire, de faire de mon mieux.

J'ai commis des erreurs, parfois que j'aurais pu éviter, qui ont peut-être fait que le stage ne se conclu pas avec de meilleurs résultats mais je suis sûr d'une chose à travers mes recherches sur la caméra, c'est que son potentiel est indéniable, avec de nombreuses possibilités de méthodes dont celles que je n'ai pas réussi à pousser à terme.

Bibliographie et Webographie

- [1] « Odométrie — Wikipédia ». <https://fr.wikipedia.org/wiki/Odom%C3%A9trie> (consulté le 30 juin 2022).
- [2] « Site Irimas ». [En ligne]. Disponible sur: <https://www.irimas.uha.fr/>
- [3] M. Al Assaad, S. Bazeille, T. Josso-Laurain, A. Dieterlen, et C. Cudel, « Homography-based model with light calibration for plenoptic cameras », *Opt. Eng.*, vol. 60, n° 09, sept. 2021, doi: 10.1117/1.OE.60.9.095103.
- [4] « Chambre Noire », *Wikipédia*. [En ligne]. Disponible sur: https://fr.wikipedia.org/wiki/Chambre_noire
- [5] « Camera Obscura », *Wikipedia*. [En ligne]. Disponible sur: https://en.wikipedia.org/wiki/Camera_obscura
- [6] *Les lentilles convergentes : vocabulaire de base de l'optique*. [En ligne Vidéo]. Disponible sur: <https://youtu.be/QFLGIwaZe2s>
- [7] « Relation de conjugaison », *Wikipedia*. [En ligne]. Disponible sur: https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Relation_de_conjugaison
- [8] « Time of flight », *Wikipedia*. [En ligne]. Disponible sur: https://en.wikipedia.org/wiki/Time_of_flight
- [9] « Structured light », *Wikipedia*. [En ligne]. Disponible sur: https://en.wikipedia.org/wiki/Structured_light
- [10] « The Stanford Multi-Camera Array ». <https://graphics.stanford.edu/projects/array/> (consulté le 27 juin 2022).
- [11] C.-K. Liang, T.-H. Lin, B.-Y. Wong, C. Liu, et H. Chen, « Programmable Aperture Photography: Multiplexed Light Field Acquisition », *ACM Trans. Graph.*, vol. 27, n° 3, p. 55:1-55:10, 2008.
- [12] G. Lafruit, S. Quackenbush, S. Foessel, et A. Hinds, « Technical report of the joint ad-hoc group for digital representations of light/sound fields for immersive media applications », 2016, doi: 10.13140/RG.2.1.4739.3524.
- [13] A. Manakov *et al.*, « A Reconfigurable Camera Add-on for High Dynamic Range, Multi-Spectral, Polarization, and Light-Field Imaging », *ACM Trans Graph Proc SIGGRAPH 2013*, vol. 32, n° 4, p. 47:1-47:14, juill. 2013, doi: 10.1145/2461912.2461937.
- [14] « Kaleidoskop », *Wikipedia*. [En ligne]. Disponible sur: <https://de.wikipedia.org/wiki/Kaleidoskop>
- [15] « Kaléidoscope », *Wikipédia*. [En ligne]. Disponible sur: <https://fr.wikipedia.org/wiki/Kal%C3%A9idoscope>
- [16] « Parallaxe — Wikipédia ». <https://fr.wikipedia.org/wiki/Parallaxe> (consulté le 29 juin 2022).
- [17] « Camera Calibration and 3D Reconstruction ». [En ligne]. Disponible sur: https://docs.opencv.org/4.x/d9/d0c/group__calib3d.html
- [18] E. Ozcakir, « Camera Calibration with OpenCV », *Medium*, 18 septembre 2020. <https://medium.com/@elifozcakiir/camera-calibration-with-opencv-9fb104fdf879> (consulté le 27 juin 2022).
- [19] F. distance from camera to object using Python et O. says, « Camera Calibration using OpenCV | LearnOpenCV # », 25 février 2020. <https://learnopencv.com/camera-calibration-using-opencv/> (consulté le 27 juin 2022).
- [20] Rapp et H Holger, « Reconstruction of Specular Reflective Surfaces using Auto-Calibrating Deflectometry », *Karlsruher Inst. Technol. KIT*, 2012, doi: 10.5445/IR/1000030538.
- [21] « Image Characteristics for Plane Mirrors ». [En ligne]. Disponible sur: <https://www.physicsclassroom.com/Physics-Video-Tutorial/Reflection-and-Mirrors/Plane-Mirror-Image-Characteristics/Lecture-Notes>
- [22] « The Law of Reflection ». [En ligne]. Disponible sur: <https://www.physicsclassroom.com/class/refln/Lesson-1/The-Law-of-Reflection>

Annexes

Remarques sur mon travail :

Bayer :

J'ai travaillé tout le long avec des images Kaléidoscopiques en format bayer, j'aurais perdu moins de temps si j'avais utilisé la débayerisassions dès le début si au moins j'avais eu connaissances de ce détail plus tôt et pas à la fin du stage.

Ce simple détail a créé de gros soucis :

- Incapacité d'exploitation des images sans réduction de la taille des images ce qui implique de travailler sans la vérité terrain.
- Calculs moins précis notamment pour les calibrations.

Il est donc important de débayeriser les images si elles le sont avant de les utiliser.



Figure 0.1 Partie d'une image avec bayer

Pour reconnaître une image qui est au format bayer il suffit de zoom pour voire un quadrillage comme sur la Figure 0.1

Nous enlevons le filtre de bayer de cette manière avec la librairie OpenCv :

```
img=cv.imread(fname,0)
img = cv.cvtColor(img,cv.COLOR_BayerBG2RGB_EA)
```

Utilisation de la caméra :

Les bagues ont été réglées sur 0,5 pour le focus et sur l'ouverture maximum (symbole soleil)

Ce rapport vous rendra compte de mes travaux sur un nouveau type de caméra dit Kaléidoscopique.

Le stage s'effectue dans un cadre de recherche et a pour but de découvrir le potentiel de notre appareil ainsi que ses capacités à nous permettre d'avoir la 3D des objets sur la scène.



This report will give you an account of my work on a new type of camera called Kaleidoscopic.

The internship is carried out within a framework of research and aims at discovering the potential of our camera as well as its capacities to allow us to have the 3D of objects on the scene.

Mots-clés/Keywords : Caméra, Kaléidoscope, Light-Field, Profondeur