



**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ ABDELHAMID IBN BADIS MOSTAGANEM**

**Faculté des Sciences Exactes & Informatique
Département d'Informatique**

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
Pour l'Obtention du Diplôme de Master en Informatique
Option : Ingénierie des Systèmes d'Information**

Thème

**Détermination de la position d'un objet à l'aide
d'un couple de caméras.**

Présenté par :

Noms et prénoms des étudiants :

- ✓ **NAAS NASREDDINE.**
- ✓ **RIAD SIDAHMED.**

Encadré par:

- ✓ **M^r RACHEDI ABDELKRIM KHALIL.**

Année Universitaire 2011/ 2012

Sommaire

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre 1 : La vision par ordinateur	
1.Introduction	3
2.Etat de l'art de la vision par ordinateur	3
3.Qu'est-ce que la vision ?.....	4
3.1. La vision humaine	4
3.2 La vision par ordinateur	4
4.Objectif de la vision par ordinateur	4
5.Historique	5
6.Bilan sur les différents domaines de la vision par ordinateur	6
7.Description d'un système de vision par ordinateur	6
7.1.Définition	6
7.2.Classification des systèmes de vision par ordinateur:	7
7.2.1.Les systèmes de vision bidimensionnelle	7
7.2.2.Les systèmes de vision tridimensionnelle	7
8.Quelques applications de la vision par ordinateur	7
9.La stéréovision	8
9.1.Les différent type de la stéréovision.....	8
9.1.1.La stéréovision passive	8
9.1.2.La stéréovision active	8
10.Stéréoscopie	9
10.1. Principe de la vision stéréoscopique	10
10.2. Prise de vue stéréoscopique.....	11
10.3 Visualisation Stéréoscopique	13
10.4 Les erreurs	14

11. La photogrammétrie:	16
11.1. Définition	16
11.2. Technique de calcul.....	17
11.3. Les instruments de prises de vues	21
11.4. Choix de l'appareil photographique	22
Conclusion :.....	22

Chapitre 2 : **Calibration du system Optique**

1. Introduction	23
2. Le modèle de caméra	23
2.1 Transformation entre le repère du monde et le repère caméra.....	24
2.2 Transformation entre le repère caméra et le repère capteur (plan rétinien).....	24
2.3 Transformation entre le repère capteur et le repère image.....	25
3. Modèle sténopé complet	25
4. Prise en compte des distorsions :.....	26
5. Modélisation d'un camera	26
5.1. Les paramètres intrinsèques	27
5.2. Les paramètres extrinsèques.....	27
6. Calibrage de caméra	28
7. Classifications des méthodes et modèles de calibrage	29
8. Principaux algorithmes de calibrage de caméra en vision par ordinateur.....	30
9. Méthode de calibration utilisée dans notre projet	31
10. La Géométrie épipolaire	33

Sommaire

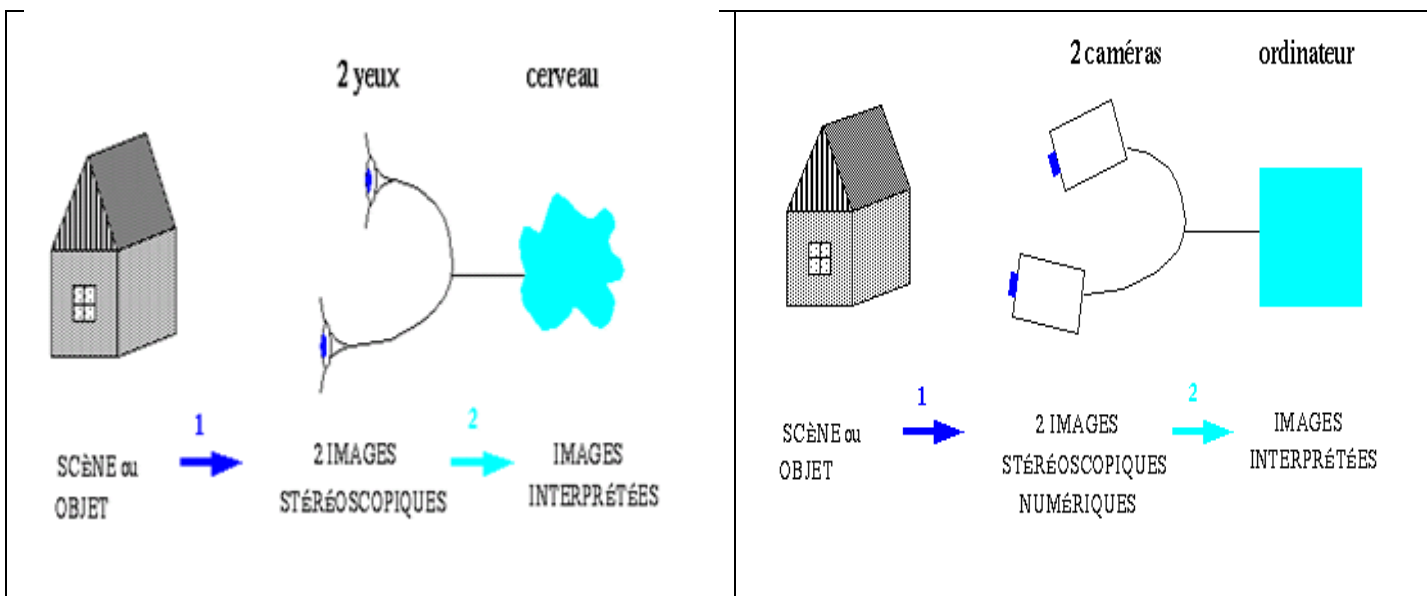
11. La Rectification	34
12. Disparité et profondeur	36
Conclusion	37
Chapitre 3 : conception et implémentation	
1.Introduction	38
2.Ressources utilisées.....	38
2.1. Les ressources physiques	39
2.2. Les langages de programmation.....	40
2.2.1 Qt	40
2.2.2 OpenCV	41
3.Conception :	41
3.1 Présentation de l'application :.....	42
3.1.1 Interface d'accueil	43
3.1.2 Fonctionnement :	44
4.Résultats et Discussion	51
5.Conclusion	55
Conclusion Général.....	55
Référence	56

L'être humain est capable de reconnaître les objets rapidement, avec une très grande précision, Cela est réalisé grâce au système visuel humain qui est capable d'interpréter les informations sensorielles, c'est-à-dire les informations fournies par l'environnement au système visuel à un instant donnée. L'interprétation est réalisée grâce au cerveau, qui peut reconnaître et situer les objets, détecter le mouvement ...

Avec la naissance des machines de calcul, des recherches scientifiques sont effectuées, en essayant de concevoir une machine qui peut remplacer le système de vision humaine, pour arriver à des résultats similaires à la vision humaine, et grâce notamment à des techniques utilisées.

Aujourd'hui, cela fait déjà bien longtemps que l'homme a donné le sens de la vue aux ordinateurs grâce aux caméras numériques, mais si l'on se fie à la définition que nous venons de formuler, cela ne suffit pas à les doter de vision : il leur manque encore la capacité à **extraire des informations** des images et des flux vidéo, de manière à **percevoir, analyser et comprendre** le monde qu'ils observent. C'est ici qu'intervient ce vaste domaine de recherche qu'est la **vision par ordinateur**.

La vision par ordinateur consiste à reproduire les résultats obtenus par la vision humaine sur un ordinateur en utilisant des moyens informatiques en remplaçant l'œil par une caméra et le cerveau par un ordinateur.



La vision par ordinateur est un domaine de recherche avec un large champ d'applications. Ces algorithmes de structure à partir du mouvement par exemple, permettent aujourd'hui avec un simple appareil photographique ou une caméra vidéo, de reconstruire en trois dimensions un objet, une scène, un bâtiment voire une ville entière.

Les applications possibles sont nombreuses : architecture et urbanisme, métrologie industrielle et rétro-ingénierie, cartographie pour la construction de données géographiques (SIG)

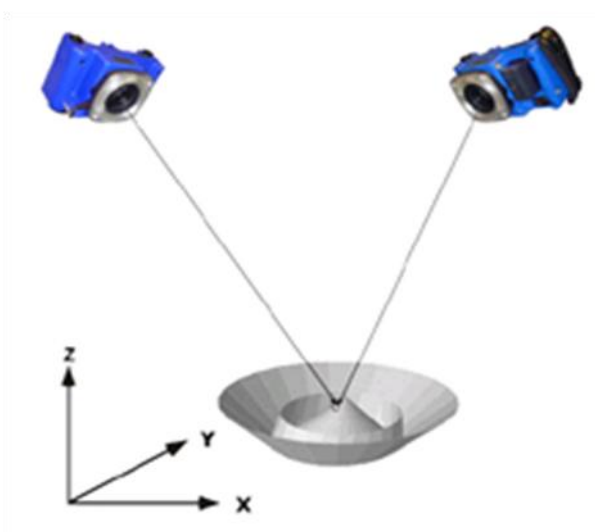
La reconstruction 3D d'objets à partir de différentes vues 2D est un problème souvent étudié dans les systèmes de vision par ordinateur, la robotique, la productique, l'infographie, et d'autres applications. Des méthodes ont été élaborées selon le nombre de vues existantes.

Description du projet :

Le but du projet est d'utiliser un couple de caméras pour déterminer la position d'un objet, à partir de cela on sera capable de calculer la distance entre deux objets ainsi que la vitesse d'un objet en mouvement.

Le cheminement du projet respecte l'ordre suivant :

- calibrage de la caméra avec la mire.
- rectification.
- Déterminer la position (x y z) d'un objet.
- Calculer la distance et la vitesse.



Chapitre 01 : La vision par ordinateur

Figure 1.1: différents domaines de la vision par ordinateur.....	6
Figure 1.2: : systèmes de vision par ordinateur	7
Figure 1.3: La stéréovision active.....	9
Figure 1.4: Principe de la stéréoscopie.....	9
Figure 1.5: : Vision stéréoscopique.....	10
Figure 1.6: Deux caméras utilisées pour la prise de vue en stéréoscopie.....	
Figure 1.7: Anciens appareils photo stéréoscopiques.....	12
Figure 1.8: Stéréo 100 à gauche, et 3D RBT X4 à droite.....	12
Figure 1.9: FUJIFILM FinePix REAL 3D W1.....	13
Figure 1.10: Caméra stéréoscopique, Roland Garros 2008.....	13
Figure 1.11: Relation entre coordonnées image et coordonnées terrain d'un point M.....	20
Figure 1.12: Les instruments de prises de vues.....	21

Chapitre 02 : Calibration du system optique

Figure 2.1: Les trois transformations élémentaires du modèle sténopé.....	24
Figure 2.2: Schéma d'une caméra avec la distance focal et la projection de l'axe optique ..	27
Figure 2.3: Calibrage stéréoscopique de deux caméras.....	28
Figure 2.4: prise de vue différentes d'un damier.....	31
Figure 2.5: La mire de calibration.....	33
Figure 2.6:Détection des coins des damiers sur la mire de calibration	33
Figure 2.7: Géométrie épipolaire	34
Figure 2.8: Opération de rectification.....	35
Figure 2.9: Exemple d'une rectification.....	35
Figure 2.10 : Disparité et profondeur.....	36
Figure 2.11: La disparité.....	37

Chapitre 03 :Conception et implementation

Figure 3.1: les ressources physiques utilisées dans l'application	37
Figure 3.2: Web Cam utilisée dans notre projet.....	39
Figure 3.3: Qt Logo.....	39
Figure 3.4: organigramme de l'application.....	41
Figure 3.5: Interface d'accueil.....	42
Figure 3.6: calibration des caméras.....	43
Figure 3.7: interface de calibrage.....	44
Figure 3.8: Démarrage de calibration.....	45
Figure 3.9: :calibration terminée.....	45

Figure 3.10: les fichiers xml.....	46
Figure 3.11: Charger les paramètres de calibration.....	46
Figure 3.12:Chargement les paramètres de caméras 1 et 2.....	47
Figure 3.13: Rectification.....	47
Figure 3.14: détermination de la position d'un objet.....	48
Figure 3.15: calcul d'une distance entre 2 objets	48
Figure 3.16: affichage de résultat de distance.....	49
Figure 3.17: Enregistrement d'une vidéo.....	49
Figure 3.18: :Calcul vitesse.....	50
Figure 3.19: L'affichage résultat de calcul d'une vitesse	50
Figure 3.20: graphe des erreurs.....	53
Figure 3.21: le taux d'erreurs.....	53

1. Introduction :

L'être humain est capable de reconnaître les objets rapidement, avec une très grande précision, Cela est réalisé grâce au système visuel humain qui est capable d'interpréter les informations sensorielles, c'est-à-dire les informations fournies par l'environnement au système visuel à un instant donnée. L'interprétation est réalisée grâce au cerveau, qui peut reconnaître et situer les objets, détecter le mouvement...

Avec la naissance des machines de calcul, des recherches scientifiques sont effectuées, en essayant de concevoir une machine qui peut remplacer le système de vision humain, pour arriver à des résultats similaires à la vision humaine, et grâce notamment à des techniques utilisées.

2. Etat de l'art de la vision par ordinateur :

Le premier ouvrage consacré partiellement à la vision par ordinateur est celui de Duda et Hart, datant de 1973. A une première partie consacrée à la reconnaissance des formes, fait suite une deuxième partie qui introduit les bases théoriques d'une approche géométrique de l'interprétation d'une image.

Pendant longtemps, l'ouvrage de référence en vision par ordinateur a été celui de Ballard et Brown (1982). Sans rentrer dans les détails mathématiques, ce texte fournit une vue synthétique des travaux de recherche dans les années 80.

L'ouvrage de Horn, publié en 1986, aborde quelques aspects de la vision d'un point de vue plus fondamental. Les bases mathématiques de la formation d'une image, de la détection de contours et de régions, des propriétés photométriques ainsi que de la perception du mouvement sont clairement présentées.

L'utilisation de la vision par ordinateur pour la navigation des robots est le thème de l'ouvrage d'Ayache, publié en 1989 et en 1991(version anglaise). On y trouve notamment les détails de l'utilisation du filtre de Kalman étendu pour intégrer l'information provenant de plusieurs cartes stéréoscopiques et l'ouvrage de Faugeras.

Radu HORAUD et Olivier MONGA le plus récent. Il propose une approche géométrique (géométrie projective et euclidienne) pour résoudre notamment le problème de reconstruction. Très clair et très détaillé, contenant de nombreux exemples ainsi que des exercices, ce texte

rend compte de 10 années de travaux de recherche effectués par l'auteur et par son équipe de l'INRIA.

3. Qu'est-ce que la vision ? [web01]

3.1. La vision humaine :

Les quatre fonctions de la vision humaine sont :

- Vision des formes (1 œil ~ 2 yeux).
- Vision des distances (1 œil << 2 yeux).
- Vision des couleurs (1 œil ~ 2 yeux).
- Vision des mouvements (1 œil << 2 yeux).

3.2. La vision par ordinateur :

La vision par ordinateur et aussi appelée vision artificielle, vision numérique est une branche de l'intelligence artificielle dont le but est de permettre à une machine de comprendre ce qu'elle «voit » lorsqu'on la connecte à une ou plusieurs caméras. Elle peut servir entre autre à la reconnaissance de formes, qui consiste à reconnaître une forme dans une image après l'avoir enregistrée. [MAH09]

Les différents domaines de la vision par ordinateur sont :

- Reconnaissance des formes (1 image ~ 2 images).
- Reconnaissance du relief (1 image << 2 images).
- Couleur (1 image ~ 2 images).
- Mouvement (1 image << 2 images).

4. Objectif de la vision par ordinateur :

La vision par ordinateur consiste à reproduire les résultats obtenus par la vision humaine sur un ordinateur en utilisant des moyens informatiques en remplaçant l'œil par une caméra et le cerveau par un ordinateur.

Un système informatique de vision par ordinateur utilise en entrée une ou plusieurs images numériques acquises à l'aide de caméra ou d'appareil photo. Ces images subissent un ensemble de traitements dans le but d'extraire le maximum d'informations relatives à la scène à reconnaître.

5. Historique : [KAL08]

La vision par ordinateur est un domaine qui n'a guère plus de trois décennies d'existence. Il s'est développé dès qu'on a su numériser des images vidéo, et il couvre de nombreuses applications orientées vers le temps réel, ceci incluant l'extraction automatique d'éléments dans l'image. D'abord, simplement les contours, puis des éléments de plus en plus évolués, tels que des objets connus (des pièces mécanique empilées en vrac), ceci allant jusqu'à des objets très complexes (reconnaitances de visages). Et puis ensuite, la volumétrie des objets visibles, à partir d'images prises de deux points de vues différents, et permettant un effet stéréoscopique. Une utilisation évidente a été le domaine de la robotique, l'objectif étant de permettre à une plateforme autonome de cartographier en temps réel son environnement immédiat, avec une exigence de précision assez modeste, mais variable : comme pour tout être vivant, le besoin de précision est d'autant plus grand que les objets sont proches, et la vision humaine est parfaitement adaptée à ce besoin.

6. Bilan sur les différents domaines de la vision par ordinateur :

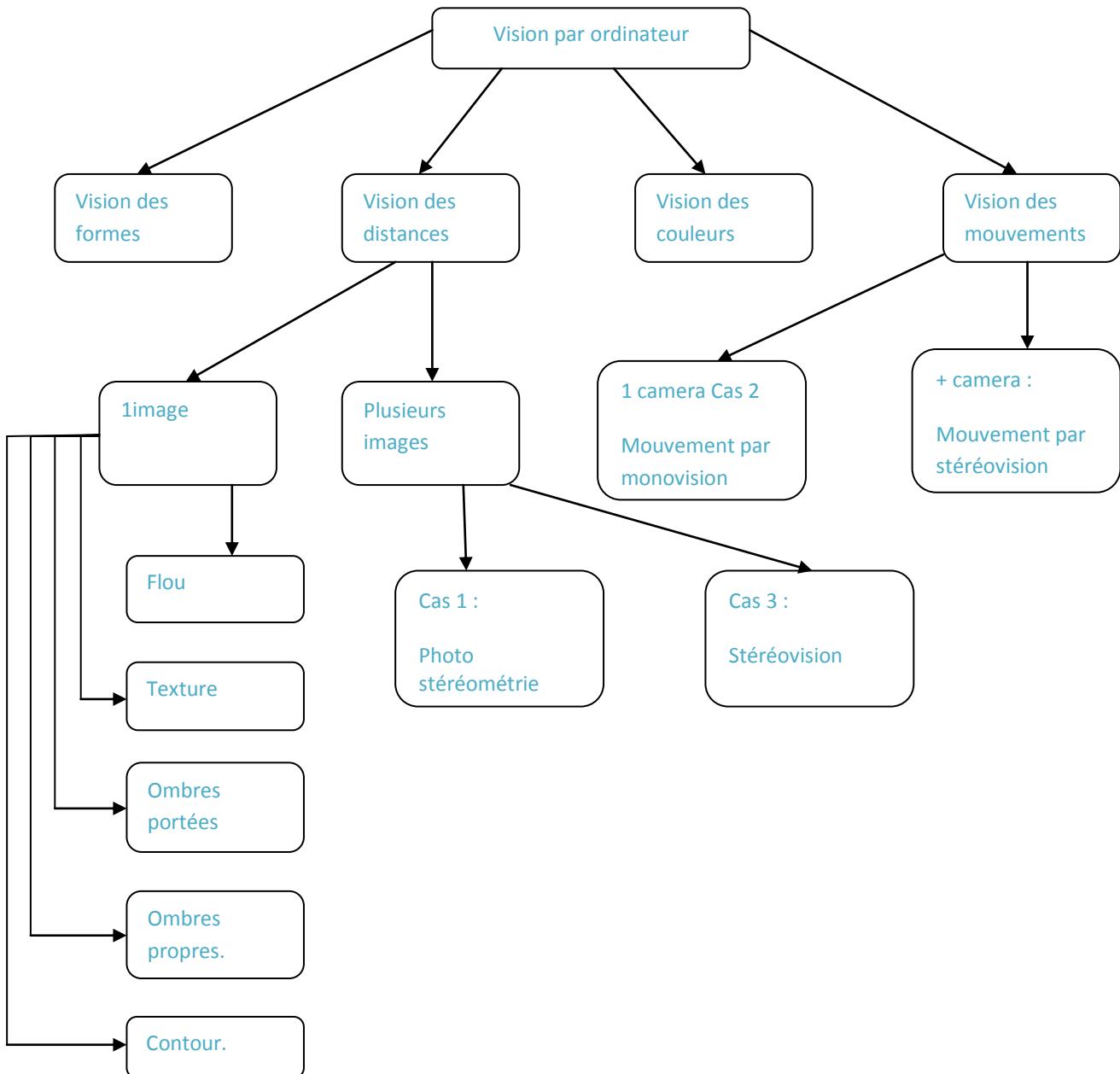


Figure 1.1 : les différents domaines de la vision par ordinateur. [web01]

7. Description d'un système de vision par ordinateur : [SAI95]

7.1. Définition :

Un système informatique de vision est un ensemble de processus fortement liés et composés de matériels et de logiciels. A l'aide de ces processus et des images prises de la scène, il fournit en sortie une description symbolique puis sémantique de la scène observée. La description est réalisée à l'aide de l'identification des attributs de la scène et des objets qui

la composent. Le système informatique reçoit en entrée une séquence d'images qu'il traite en utilisant la connaissance spécifique aux différents niveaux de traitements, en sortie il fournira une description en termes d'objets et de relations entre ces derniers..

7.2. Classification des systèmes de vision par ordinateur:

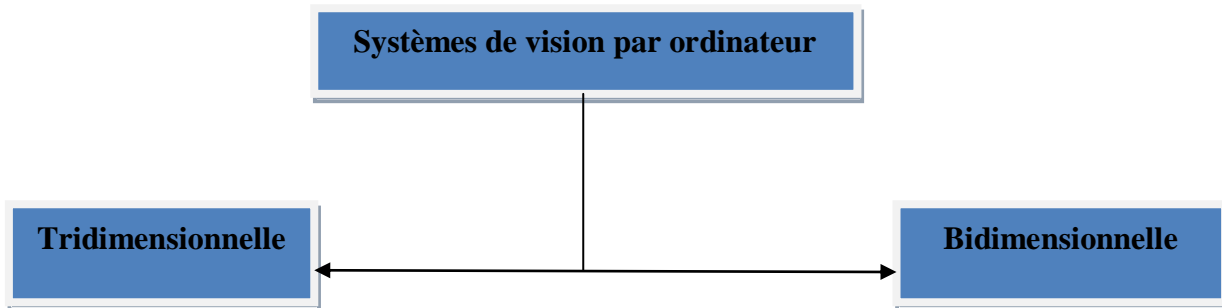


Figure 1.2 : systèmes de vision par ordinateur.

Selon la nature de la scène observée on détermine le type de système, on distingue deux types de système qui sont :

7.2.1. Les systèmes de vision bidimensionnelle :

Ces systèmes permettent une acquisition de l'image de la scène 2D, ils n'exploitent pas la notion de profondeur et donc reconnaissent uniquement les objets plans et isolés. Ces systèmes sont utilisés dans des domaines spatiaux tels que la télédétection et la reconnaissance de caractères, la robotique industrielle...

7.2.2. Les systèmes de vision tridimensionnelle :

Ces systèmes sont capables d'identifier les objets à partir d'une image d'un monde tridimensionnel, c'est pour cela qu'ils sont utilisés en robotique car ils permettent à un robot de se déplacer dans un environnement inconnu à obstacles.

8. Quelques applications de la vision par ordinateur :

Robot dans un milieu hostile, Inspection industrielle, Télédétection, Imagerie médicale, Reconnaissance de forme, Aérospatiale.

9. La stéréovision :

La stéréovision est une technique pour déduire des informations tridimensionnelles à partir de deux ou plusieurs images bidimensionnelles représentant des prises de vue d'une même scène sous des angles légèrement différents [EIZ96].

D'après [AMR08] « La stéréovision consiste à observer une même scène avec deux caméras qui sont éloignées l'une de l'autre et dont on connaît la distance qui les séparent. Connaissant la géométrie exacte du système stéréoscopique la première étape de reconstruction 3D consiste à mettre en correspondance les deux images. Cette phase réside dans la détermination de couples de points observés dans les deux images, ou dans l'appariement de points d'intérêt ».

9.1. Les différents types de la stéréovision :

9.1.1. La stéréovision passive : [LAT07]

Le principe de base de la stéréovision est d'avoir deux points de vue d'un même objet, pour pouvoir apprécier la distance en profondeur. Nos deux yeux, par leur léger décalage, forment un couple stéréoscopique et nous permettent de voir le monde en trois dimensions. C'est la différence de point de vue qui permet au cerveau de construire une image tridimensionnelle. Les deux informations 2D du même point 3D du monde doivent être mises en correspondance. La reconstruction tridimensionnelle est ensuite obtenue par calcul géométrique.

9.1.2. La stéréovision active :

La stéréoscopie active consiste à remplacer une des deux caméras des systèmes passifs par un émetteur permettant de projeter de la lumière, soit un faisceau ou encore un patron de lumière structurée. La caméra capte ensuite la scène éclairée et les déformations subies par la projection dans l'image permettent de retrouver la structure tridimensionnelle de l'environnement. Le principe de triangulation pour de tels systèmes est illustré à la (Figure 1.3), la source de lumière étant un laser projetant un faisceau. [ALE07]

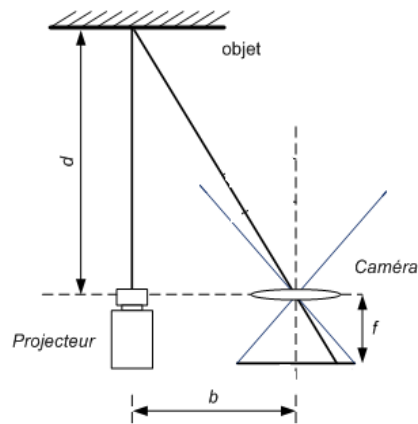


Figure 1.3 : La stéréovision active.

10. Stéréoscopie : [BEN10]

La stéréoscopie regroupe toutes les techniques à but d'extraction d'informations relatives au relief à partir de deux images classiques ou plus. Elle se base initialement sur la perception cérébrale du relief à partir d'images fournies par les deux yeux (Figure 1.4). En effet, le fait d'avoir deux angles de vues différents d'un même objet permet à notre cerveau d'estimer la profondeur.

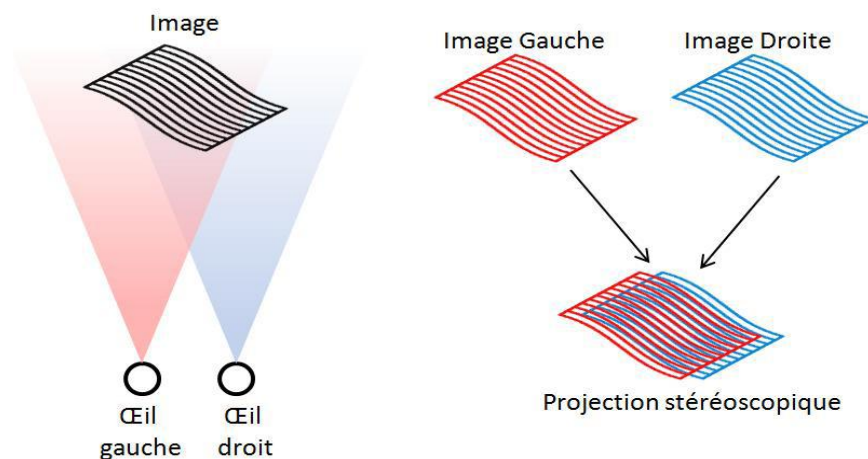


Figure 1.4 : Principe de la stéréoscopie.

La stéréoscopie s'est considérablement développée dans le domaine de la robotique où une reconnaissance spatiale de l'environnement entourant le robot est nécessaire au déplacement.

Les techniques et algorithmes développés pour la stéréoscopie, ont été repris dans différents systèmes de modélisation 3D dans des domaines nécessitant la mesure du relief.

Nous présentons dans ce chapitre le principe de la vision stéréoscopique, un historique de quelques systèmes d'acquisition anciens ainsi que le principe du montage d'un système basé sur deux appareils photographiques.

10.1. Principe de la vision stéréoscopique :

La stéréovision par ordinateur est la reproduction artificielle de la perception du relief naturellement présente chez l'homme. Elle permet d'ajouter une dimension supplémentaire à la vision classique, cette dimension est le relief. L'être humain utilise ses deux yeux pour apercevoir le relief, ce phénomène est dû à la présence de deux points de vue différents représentés par les yeux, écartés par une distance donnée (4-6 cm en moyenne chez l'espèce humaine).

Les deux images ainsi fournies sont acquises avec des angles différents, le cerveau ensuite prend le relais en analysant les deux vues gauche et droite afin d'en synthétiser la perception spatiale. La projection rétinienne d'un point ou d'une forme ainsi observée a une position horizontale différente sur les deux images, cette différence sur l'axe des abscisses est appelée « Parallaxe » (Figure 1.5). La vision stéréoscopique ne concerne que le champ de vision commun aux deux yeux.

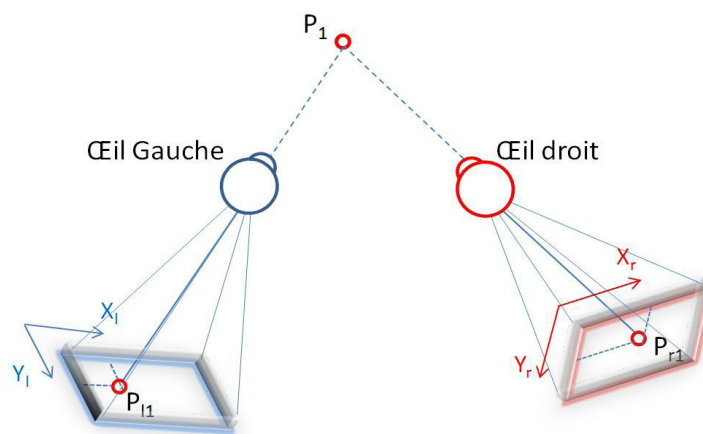


Figure 1.5 : Vision stéréoscopique. La parallaxe est la différence entre la valeur de X_l et X_r , elle fait partie des indices forts de profondeur

La parallaxe diminue en éloignant l'objet des yeux. Ceci donne au cerveau une distance approximative mais l'équation reliant la distance par rapport à la parallaxe n'est pas linéaire (pour une parallaxe P_1 et une distance D_1 par rapport aux caméras d'un point donné, une règle de trois est insuffisante afin de retrouver la distance D_2 d'un deuxième point ayant une parallaxe P_2). Ceci oblige à utiliser une méthode plus complexe afin de trouver la profondeur exacte d'un point dans l'espace. Le même phénomène est reproduit artificiellement en remplaçant les deux yeux par des caméras qui sont placées suivant une configuration adaptée à chaque utilisation. Une prise de vue très rapprochée nécessite une diminution de l'écartement entre les deux caméras et vice versa.

La visualisation des images stéréoscopiques nécessite la projection des deux images des deux différents points de vues chacune séparément sur l'œil correspondant, le but est de présenter à chacun de nos yeux un point de vue différents, l'image gauche pour l'œil gauche et l'image de droite pour l'œil droit.

10.2. Prise de vue Stéréoscopique : [ALB11]

Les premières photographies stéréoscopiques ont été faites en utilisant un seul appareil photographique. Deux vues séparées étaient prises avec un petit écartement horizontal représentant la distance entre les yeux. Plus tard, deux caméras identiques ont été utilisées simultanément (Figure 1.6) avant de voir apparaître des caméras stéréo et d'autres procédés de visualisation en relief plus modernes.

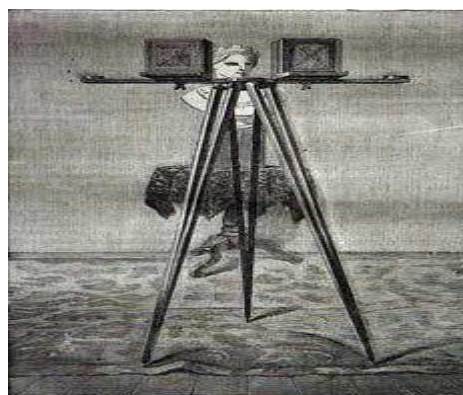


Figure 1.6 : Deux caméras utilisées pour la prise de vue en stéréoscopie [musée des sciences 1860]

La stéréoscopie se développe ensuite et atteint son âge d'or entre 1851 et 1880. Elle suit de près les évolutions de la photographie classique. A la fin du 19ème siècle, la photographie

stéréoscopique se propage rapidement dans les milieux amateurs et professionnels. De grands spécialistes industriels comme Jules Richard, marqueront une période de plus de cinquante ans. De nombreux modèles d'appareils stéréoscopiques voient le jour au début du 20ème siècle (Figure 1.7).



Figure 1.7 : Anciens appareils photo stéréoscopiques [Musée des sciences]

Dans les années 1980 et 1990, des modèles utilisant les films argentiques étaient disponibles dans les magasins spécialisés (Figure 1.8).



Figure 1.8 : Stéréo 100 à gauche, et 3D RBT X4 à droite [Musée des sciences]

L'explosion du numérique est arrivés vers le début des années 2000, les appareils photos argentiques n'étaient utilisés que très rarement par des amateurs avertis. En 2008, Fujifilm dévoile le premier appareil numérique stéréoscopique destiné au grand public. Il est muni de deux objectifs séparés de 77mm et a un afficheur à barrières de parallaxes qui permet de voir directement la photo prise en relief et sans lunettes. Il s'agit du FinePix REAL 3D W1 (Figure 1.9). Après sa commercialisation en 2009, une nouvelle version améliorée a vu le jour en 2010 sous le nom Fujifilm FinePix Real 3D W3.



Figure 1.9 : FUJIFILM FinePix REAL 3D W1

Le tournoi de Roland Garros de tennis de 2008 était l'occasion pour Orange de tester la TV 3D par le biais de caméras stéréoscopiques (Figure 1.10), d'un téléviseur spécial et de lunettes polarisées. Des matchs de tennis ont pu être filmés et le rendu 3D est qualifié d'étonnant de réalisme. L'expérience semble avoir été un succès.



Figure 1.10 : Caméra stéréoscopique, Roland Garros 2008

10.3. Visualisation Stéréoscopique :

Les images issues d'une prise de vue stéréoscopique sont superposées pour produire une seule image stéréoscopique selon différentes techniques :

a. Vision libre parallèle : c'est une technique qui consiste à présenter les deux images simultanément devant l'observateur : l'image destinée à l'œil droit est placée devant l'œil droit et l'image destinée à l'œil gauche devant l'œil gauche, en se concentrant sur les deux images et en regardant chaque image avec l'œil qui lui est associé en s'efforçant de regarder à l'infini, une troisième image est perçue induisant une perception de l'effet 3D.

b. Vision libre croisée : le principe est le même que pour la vision parallèle sauf que les deux images sont permutées, l'œil droit doit regarder l'image qui lui est associée qui se trouve maintenant à sa gauche et l'œil gauche doit regarder l'image qui lui est destinée qui se trouve à sa droite. En se forçant à loucher et en se concentrant sur les images, une troisième image est perçue au milieu donnant la sensation du relief.

La vision libre se fait soit spontanément, soit après des exercices oculaires. Pour certains individus, elle n'est possible qu'à une distance importante. L'image apparaît alors quelque peu étirée. L'aptitude à la vision libre est très variable selon les personnes : les uns (une minorité) y arrivent facilement, soit en parallèle, soit en croisé et pour quelques-uns dans les deux cas. D'autres y arrivent après un entraînement ; d'autres enfin pas du tout.

La première application exploitant ce principe fut le stéréoscope à miroirs inventé par le célèbre physicien anglais Charles Wheatstone (1802-1875) en 1838.

c. Anaglyphes ou multiplexage de couleurs : c'est une technique qui consiste à superposer dans une seule image deux images (appelées homologues) de couleurs complémentaires représentant la même scène mais vues de points légèrement décalés : les couleurs des deux images sont obtenues le plus souvent dans le cas d'anaglyphe rouge/cyan- en extrayant la composante rouge de la vue de gauche et les composantes verte et bleue (vert + bleu = cyan) de la vue de droite. Le décalage (appelé parallaxe ou disparité) n'est pas le même pour tous les éléments de l'image combinée, il est d'autant plus grand, dans un sens ou dans l'autre, que les éléments sont situés près du plan de l'image physique, par exemple imprimée, projetée sur un écran ou affichée sur l'écran d'un ordinateur ou d'un téléviseur.

10.4. Les erreurs : [BEL11]

La stéréovision est sensible à différentes sources d'erreur. Dans cette section, sans être exhaustif, nous donnons une description des principales sources d'erreurs affectant la stéréovision et de l'impact de ces sources d'erreurs sur la reconstruction 3D.

10.4.1 Erreur induite par le modèle de la caméra :

Un capteur stéréoscopique est composé de deux caméras. Ces dernières sont à l'origine de plusieurs types d'erreur. Une caméra est principalement un instrument de mesure, dont la grandeur physique observée est le flux lumineux. La valeur de ce flux, mesurée par le niveau

de gris des pixels dans l'image après numérisation de l'intensité, peut être entachée d'une erreur plus ou moins importante, résultant notamment des sources d'erreur suivantes:

- a- Bruit de lecture : il provient essentiellement de la perte d'électrons pendant le transfert de charge avant numérisation et des bruits analogiques des composants électroniques.
- b- Le bruit thermique : le sur échauffement des cellules génère des électrons thermiques. Le bruit thermique est usuellement estimé à partir de la racine carrée du nombre d'électrons thermiques, d'obscurité d'une caméra est donnée en électrons par pixel et par seconde.
- c- Le bruit du signal : ce bruit peut être caractérisé par les fluctuations d'intensité observées dans les images acquises. Toujours présent dans les images acquises par la caméra.

L'erreur induite par ce type de bruit est alors toujours présente dans l'image et la qualité du résultat du traitement d'images dépendra de cette erreur.

10.4.2. Erreurs liées au traitement des images :

Une des étapes du traitement des images stéréoscopiques porte donc sur la détection et la localisation des points de contour représentant la géométrie de l'objet. La précision de la localisation de ces points est ainsi primordiale, puisque de celle-ci dépendra la précision des mesures, pour but de trouver et de localiser les pixels de l'image correspondant à de fortes variations de niveaux de gris.

10.4.3. Erreurs d'étalonnage :

Les erreurs d'étalonnage, liées aux paramètres du modèle décrivant le capteur, conduisent à une erreur lorsque l'on procède à la reconstruction 3D (par exemple, à la suite d'une estimation imparfaite de l'attitude du capteur dans la scène par les paramètres extrinsèques du capteur). Dans notre cas, elle est basée sur la prise d'images d'une mire dont les caractéristiques sont très précisément connues. En effet, il est essentiel que les positions des motifs utilisés (carrés d'un damier par exemple) soient connues avec une incertitude faible par rapport à l'incertitude finale souhaitée pour la reconstruction 3D. Malgré ces précautions, le calcul des paramètres d'étalonnage reste entaché d'erreurs.

Ainsi, à titre d'exemple, les valeurs des incertitudes relatives sont de 2% pour la distance focale effective et de 10% pour les coordonnées du point principal. Ces valeurs ont été calculées à partir des résultats d'étalonnage d'une caméra de Matlab développée par Bouguet. Les incertitudes dans la détermination des paramètres d'étalonnage vont tout naturellement engendrer des erreurs de reconstruction pendant le calcul des coordonnées 3D de points caractérisant la géométrie de l'objet observé.

10.4.4. Erreurs liées à la mise en correspondance 2D :

Les erreurs dues à la mise en correspondance de points homologues dans la paire stéréoscopique sont principalement liées aux erreurs d'estimation de la matrice fondamentale. En effet, en stéréovision, c'est la matrice fondamentale qui relie les points correspondants dans des images stéréoscopiques. Cette erreur, calculée dans les plans images, est estimée par la distance moyenne entre les points appariés et leurs droites épipolaires associées.

11. La photogrammétrie:

11.1 Définition : [jan05]

La photogrammétrie est la science, voir l'art, permettant de localiser et de déterminer la taille et la forme d'objets, à partir de mesures faites sur des images, soit sans contact avec les objets. Le mot science est important puisqu'il implique les lois des mathématiques, Le terme art ne doit pas être sous-estimé. En effet, l'obtention de bons résultats n'est possible qu'avec des images convenables, ce qui induit des compétences en photographie et vidéographie.

Selon E.H. Thompson, « les méthodes photogrammétriques de mesure sont utiles dans les conditions suivantes :

1. quand l'objet à mesurer est difficile d'accès ou inaccessible.
2. si l'objet n'est pas rigide et que ses dimensions instantanées sont requises.
3. si l'on n'est pas certain d'avoir besoin de toutes les mesures.
4. quand l'on ne sait pas au moment des mesures celles qui seront utiles.
5. quand les contours de la surface de l'objet doivent être mesurés.
6. quand l'objet est très petit, particulièrement s'il est microscopiquement petit.

La photogrammétrie est utile seulement si des mesures directes sont impossibles, irréalistes ou trop coûteuses». La photogrammétrie peut être mise en œuvre à différentes échelles, à partir de clichés aériens, satellitaires ou terrestres. Cette technique trouve des applications dans de nombreux domaines comme l'architecture, la cartographie, l'industrie ou la médecine.

La mise en œuvre de la photogrammétrie peut se décomposer en trois étapes :

- **Réalisation des prises de vue**, de façon à respecter un recouvrement suffisant pour la vision stéréoscopique. En aérien, on assure aussi un recouvrement inter et intra bande.
- **Orientation des clichés**, soit la reconstitution du faisceau perspectif dans l'espace et son orientation dans un système de référence.
- **Restitution**, pour obtenir la structure géométrique de l'objet.

Les résultats des mesures photogrammétriques peuvent se présenter sous la forme de fichiers de coordonnées (modèle numérique de terrain ou d'élévation), de représentations graphiques (cartes, plans, modèle 3D) ou d'images (photomontages). En plus de l'information géométrique, les images apportent une composante radiométrique qui autorise une photo-interprétation, soit la classification des objets.

11.2. Technique de calcul :

Une fois les prises de vue réalisées sur le terrain, il faut procéder au calcul de l'orientation des clichés pour obtenir un modèle tridimensionnel pouvant être basculé dans le système de référence. Selon la disponibilité des données, l'orientation des images peut être réalisée par 2 méthodes différentes :

1- Calcul d'orientation des images en deux étapes : orientation interne et puis orientation externe. Cette méthode est issue du principe de la photogrammétrie analogique, elle est utilisée quand les caractéristiques de la caméra de prise de vue sont connues.

2- Calcul d'orientation des images en une seule étape : l'utilisation de la méthode des faisceaux en photogrammétrie classique ou de la méthode de la transformation linéaire directe (DLT) en photogrammétrie numérique moderne. Cette méthode est utilisée sur les images acquises à partir de caméras numériques, de paramètres internes connus ou inconnus. Elle nécessite la connaissance d'au moins 6 points en coordonnées pour relier directement les coordonnées images aux coordonnées objets. [MOR04]

11.1.1. L'orientation en deux étapes : [MZA08]

Cette méthode d'orientation est conseillée lorsque les caractéristiques de la caméra sont connues. Elle permet d'obtenir de bons résultats et d'observer les résidus issus d'une inversion des paramètres d'orientations par méthode des moindres carrés. Ainsi, l'analyse de précision des opérations. Le principe consiste alors à créer les conditions de perspectives en deux étapes, l'orientation interne puis l'orientation externe.

- L'orientation interne :

Le but de l'orientation interne est de caler les images dans le système d'exploitation. Il s'agit en effet, d'une transformation du système de coordonnées entre le repère caméra et le repère image.

Ce processus est valable pour les images argentiques.

Cette étape n'est pas nécessaire dans le cas d'un appareil numérique, car le support de fond de chambre et le support de travail sont les mêmes.

- L'orientation externe :

L'orientation externe permet de réaliser l'orientation relative et l'orientation absolue. L'orientation relative consiste à orienter les clichés dans la même position relative l'un par rapport à l'autre en utilisant les points de liaison. Cela est réalisé par élimination de la parallaxe en utilisant un nombre suffisant des points de liaison. [MOR04]. Les outils mathématiques utilisés sont alors basés sur les conditions de colinéarité ou de coplanéité des rayons perspectifs homologues.

L'orientation absolue permet de basculer l'image dans le système terrain à partir des points d'appui. La transformation qui permet de passer des coordonnées modèle aux coordonnées terrain est une similitude contenant 7 paramètres et elle s'écrit comme suite :

- 3 translations (T_x, T_y, T_z).
- 3 rotations $R(k, \omega, \varphi)$.
- 1 facteur d'échelle λ .

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{pmatrix} + \lambda R \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$$

Avec :

(λ : Facteur d'échelle), (R : Matrice de rotation.), (X_0, Y_0, Z_0 : Paramètres de translation.)

(X, Y, Z : Coordonnées objet dans le repère terrain.) (x, y, z : Coordonnées objet dans le repère modèle.)

Vu qu'un point connu dans ses 3 coordonnées fournit 3 équations, il nous faut au minimum 7 équations pour résoudre le système, soit, 2 points tridimensionnels et un point Z connu qu'en altimétrie. En pratique, il faut souvent plus de points pour obtenir des valeurs approchées des paramètres, utilisés ensuite dans la méthode des moindres carrés permettant d'affiner la solution. [SIM06]

11.1.2. La méthode des faisceaux :

Si la caméra est numérique, des paramètres internes connus ou inconnus, une solution pour orienter les images est d'utiliser la méthode des faisceaux. Tous les paramètres d'orientation des images sont déterminés en une seule étape. Cette méthode nécessite la connaissance d'au moins 6 points de calage correctement répartis dans l'espace tridimensionnel.

Cette méthode permet de passer directement d'un point terrain M à un point image m . Elle se base sur l'utilisation des coordonnées image comme observation et sur l'emploi d'une projection centrale. [JUN07]

La formule qui suit présente l'équation de base permettant de relier les coordonnées d'un point sur la photographie notée (x, y) , à ses coordonnées terrain notée (X, Y, Z) . Cette équation est appelée équation de colinéarité :

$$\begin{cases} x = x_0 - c \frac{r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} \\ y = y_0 - c \frac{r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} \end{cases}$$

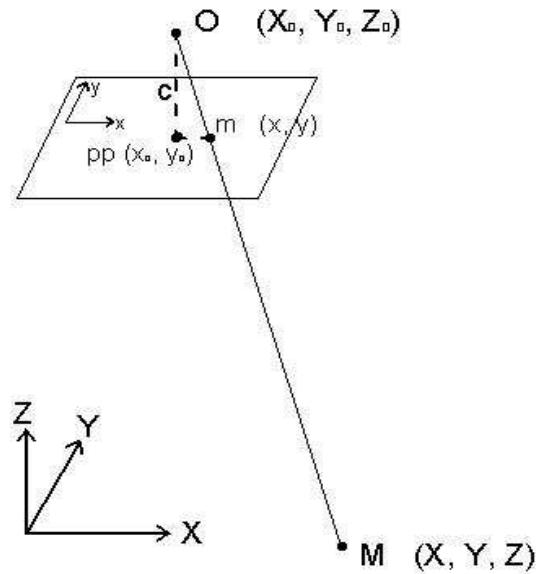


Figure 1.11 : Relation entre coordonnées image et coordonnées terrain d'un point M

Avec :

- x, y : coordonnées image du point.
- X, Y, Z : coordonnées terrain du point.
- x_0, y_0 : coordonnées image du point principal.
- X_0, Y_0, Z_0 : coordonnées du centre de la projection (chambre de prise de vue).
- c : distance principale (distance focale de l'appareil).
- r_{ij} : les paramètres de la matrice de rotation.

La matrice de rotation définit la position de la photographie dans l'espace par rapport au système de coordonnées objet (X, Y, Z) . Cette matrice est construite par les différentes rotations qui représentent les paramètres d'orientation de la chambre de prise de vue par rapport à l'objet.

11.1.3 La transformation linéaire directe (DLT) :

La résolution des paramètres d'orientation se base sur des méthodes de calcul scientifique [JUN07] et non plus la méthode des moindres carrés.

Le calcul de la DLT se base sur la condition de coplanarité des rayons perspectifs homologues. Après l'élimination algébrique des paramètres de profondeur de la transformation rigide, la relation entre les coordonnées images d'un point homologue s'écrit :

$$x_2^T E x_1 = 0$$

Avec : $E=TR$

Notons :

E : matrice essentielles

La matrice essentielle accepte une décomposition SVD (Singular value decomposition) sous la forme $E = U \Sigma V^T$ afin de se décomposer en Translation et Rotation. [JUNG07]

11.2 Les instruments de prises de vues :

Deux types d'appareils existent :

1-La photo théodolite : résulte de la combinaison d'un théodolite et d'une chambre de prise de vues. Il est utilisé normalement en photogrammétrie terrestre à longue distance.

2-La chambre stéréométrique est muni de deux chambres de prise de vues rigidement fixées à un même support.

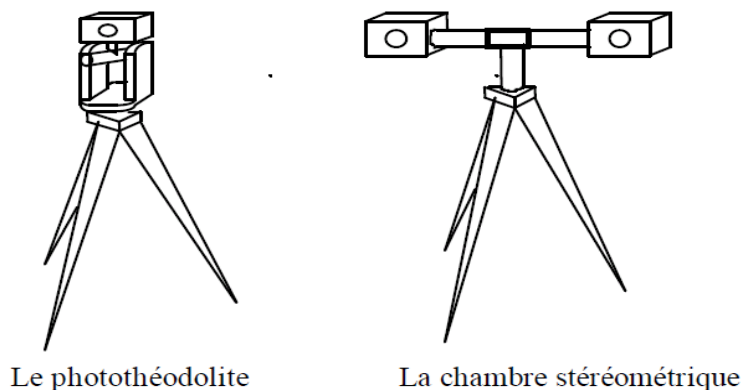


Figure 1.12 : Les instruments de prises de vues

11.3 Choix de l'appareil photographique :

Dans le marché du matériel photographique, il existe plusieurs constructeurs qui proposent des produits très performants. Les grands capteurs de plus de 10 millions de pixels permettent de détecter les détails les plus fins de la scène.

Le choix de l'appareil dépend directement du produit et de la précision recherchée. Il y a plusieurs paramètres qui rentrent dans le choix du matériel tel que la résolution, la taille du capteur, la qualité d'optique, l'ouverture, la distance focale ... [MZA08]

Conclusion :

La photographie stéréoscopique est une technologie qui est apparue quasiment avec l'invention de la photographie. Les domaines qui ont adopté cette technique sont nombreux afin de réaliser des modélisations ou des calculs 3D. Parmi eux, le bâtiment, l'architecture, la robotique, la géographie, le spatial et bien d'autres domaines où la profondeur est une donnée essentielle.

De nombreux dispositifs d'acquisition stéréoscopiques existent sur le marché, mais ils restent généralement en phase de prototype ou de mauvaise qualité à cause du manque d'intérêt du grand public.

Dans notre cas ,nous avons choisi de tester ces techniques en utilisant un matériel accessible au grand public et de moindre cout a savoir des webcam.

1. Introduction :

Dans un processus de vision, il est utile de connaître la physique de l'instrument qui fournit les données de base : les images. Cette connaissance permet en particulier de calculer des informations tridimensionnelles de la scène à partir d'images, même si elle n'est pas forcément nécessaire.

Le calibrage géométrique d'une caméra consiste à déterminer la relation mathématique existant entre les coordonnées des points 3D de la scène observée et les coordonnées 2D de leur projection dans l'image. Cette étape de calibrage constitue le point initial pour plusieurs applications de la vision artificielle, comme par exemple la reconnaissance et la localisation d'objets, le contrôle dimensionnel de pièces, la reconstruction de l'environnement pour la navigation d'un robot mobile, etc.

Le calibrage d'une caméra est particulièrement important lorsque l'on doit obtenir, à partir des images acquises, des informations métriques en vue d'applications de mesures dimensionnelles. Pour obtenir des mesures dimensionnelles précises, il est indispensable de prendre en compte les distorsions géométriques induites par le système optique utilisé.

Calibrer une caméra, c'est choisir un modèle de caméra a priori et déterminer ensuite les paramètres de ce modèle. Nous allons décrire les principaux modèles de caméra utilisés ainsi que les principales méthodes proposées pour déterminer les paramètres du modèle choisi. Pour obtenir des informations tridimensionnelles, il est le plus souvent fait usage de deux caméras pour constituer un capteur de vision stéréoscopique. Le calibrage d'un tel capteur est un problème spécifique qui sera décrit également.

2. Le modèle de caméra : [WEB03]

Le modèle sténopé (« pinhole » en anglais) modélise une caméra par une projection perspective. Ce modèle transforme un point 3D de l'espace \mathbf{M} en un point-image \mathbf{m} et peut se décomposer en trois transformations élémentaires successives (figure 2.1) : la transformation entre le repère du monde et celui de la caméra(1), la transformation entre le repère caméra et le repère (plan rétinien) (2) et la transformation entre le repère capteur et le repère image(3).

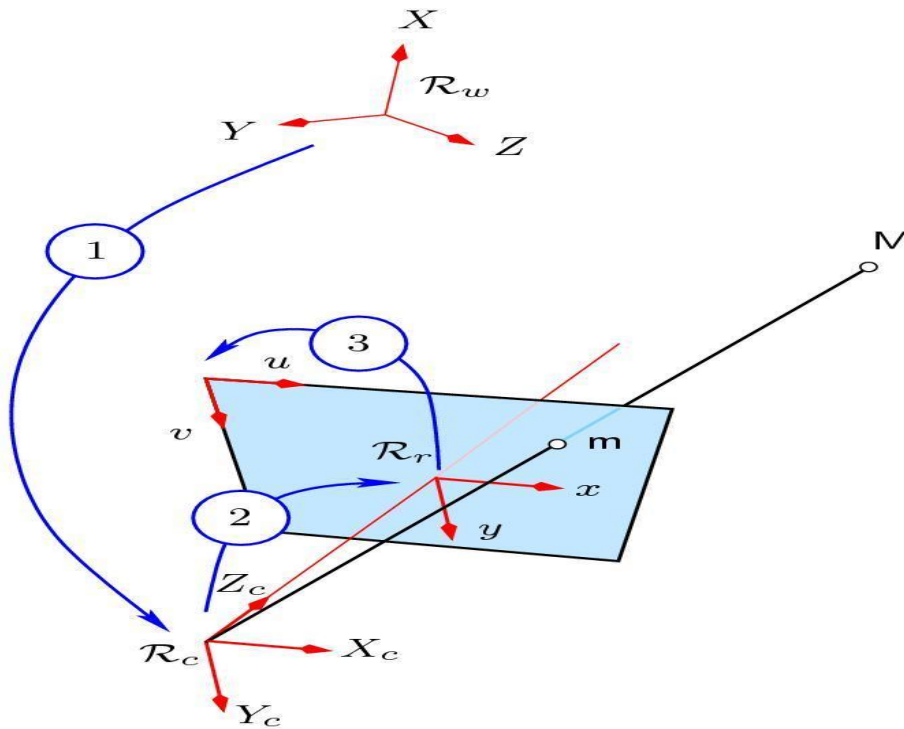


Figure 2.1 : Les trois transformations élémentaires du modèle sténopé, et les repères associés

2.1. Transformation entre le repère du monde et le repère caméra :

Comme indiqué sur la (figure 2.1), (1) représente une transformation entre le repère du monde R_w (choisi arbitrairement) et le repère caméra R_c (dont l'origine est située au centre optique de la caméra). Cette transformation rigide peut se décomposer en une rotation $[R]$ et une translation $[t]$. Les paramètres de cette transformation sont appelés **paramètres extrinsèques** de la caméra.

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ 1 \end{bmatrix} = [R] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} + t = \begin{bmatrix} R & t \\ O^T & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} = [T] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

Avec :

$$t = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} ; [R] = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \quad T \text{ est une matrice } 4 \times 4.$$

2.2. Transformation entre le repère caméra et le repère capteur (plan rétinien)

La deuxième transformation, notée (2) sur la (figure 2.1) relie le repère caméra R_c au repère capteur R_r (plan rétinien). C'est une projection perspective (matrice 3×4 , notée $[P]$) qui transforme un point 3D (x_c, y_c, z_c) en un point-image (x, y) (en unité métrique).

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ 1 \end{bmatrix} = [P] \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ 1 \end{bmatrix}$$

Où f désigne la focale de l'objectif utilisé.

2.3. Transformation entre le repère capteur et le repère image :

La troisième et dernière transformation, notée (3) sur la (Figure 2.1), décrit l'opération de conversion des coordonnées images (x y) (en unité métrique) en coordonnées images discrètes (u v) (pixels).

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_x & k_x \cos \theta & c_x + c_y \cos \theta \\ 0 & k_y / \sin \theta & c_y / \sin \theta \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = [A] \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

Où :

- c_x Et c_y (en pixels) désignent les coordonnées de l'intersection de l'axe optique avec le plan image (théoriquement au centre de l'image)
- K_x et K_y désignent le nombre de pixels par unité de longueur suivant les directions x et y du capteur respectivement (dans le cas de pixels carrés)

3. Modèle sténopé complet : [Web03]

La composition des trois transformations (1), (2) et (3) peut être résumée par le schéma de la manière suivante :

$$(X \ Y \ Z) \xrightarrow{T} (X_c \ Y_c \ Z_c) \xrightarrow{P} (x \ y) \xrightarrow{A} (u \ v)$$

Cela conduit à l'équation du modèle sténopé :

Avec :

$$K = AP = \begin{bmatrix} K_x & k_x \cos \theta & c_x + c_y \cos \theta \\ 0 & k_y / \sin \theta & c_y / \sin \theta \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & f_x \cos \theta & c_x + c_y \cos \theta & 0 \\ 0 & f_y / \sin \theta & c_y / \sin \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Où

- $f_x = fk_x$ et $f_y = fk_y$ Désignent la focale de la caméra en nombre de pixels suivant les directions x et y respectivement.
- Les 5 paramètres $(C_x C_y f_x f_y 0)$ de la matrice K sont appelés paramètres intrinsèques de la caméra.

Finalement, le modèle sténopé est décrit par 5 paramètres intrinsèques $(C_x C_y f_x f_y 0)$ et 6 paramètres extrinsèques (3 pour la rotation et 3 pour la translation).

4. Prise en compte des distorsions :

Le modèle sténopé seul ne suffit pas toujours à modéliser correctement les caméras réelles. En effet les objectifs des caméras introduisent une distorsion de la projection des points sur l'image. La distorsion se manifeste selon une composante radiale et une composante tangentielle.

Cette dernière étant beaucoup moins prononcée, nous avons considéré uniquement dans notre modèle la distorsion radiale, qui suffit généralement à approximer les distorsions optiques.

La distorsion radiale peut être paramétrée par un polynôme dont le degré peut aller jusqu'à 5 avec des objectifs grands-angles. Les coefficients du polynôme de distorsion radiale sont notés (a_1, \dots, a_i) où $i \in \mathbb{N}$ est le degré du polynôme (généralement de 1 à 5).

Dans la pratique nous avons modélisé les paramètres de distorsions radiales par 5 coefficients. Ces paramètres de distorsion peuvent être estimés lors d'une procédure d'étalonnage

5. Modélisation d'un camera : [BOR 02]

Le plus généralement, une camera est modélisée sous la forme suivante :

$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ 1 \end{pmatrix} = K \times M \times \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix}$$

- (u, v) les coordonnées en pixel du point dans l'image.
- K la matrice intrinsèque de la caméra.
- M la matrice de transformation géométrique.
- $(x, y, z, 1)$ les coordonnées du point dans l'espace.

5.1. Les paramètres intrinsèques : [BOR 02]

Ils sont composés des coefficients de la matrice K , dite matrice intrinsèque de la caméra.

$$K = \begin{bmatrix} K_u \cdot f & c & c_0 \\ 0 & k_u \cdot f & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ou :

- K_u et K_v sont les facteurs d'échelles fonction de la taille de l'image en pixel /mm
- f est la distance focale. on note en général $f K_u \equiv \alpha_u$
- (u_0, v_0) sont les coordonnées en pixel de l'intersection de l'axe optique avec le plan rétinien. Ce point n'est généralement pas situé exactement au centre de l'image.
- C est un coefficient qui est nulle lorsque les axes de l'image sont orthogonaux.
- $K_u \cdot f$ et $K_v \cdot f$ sont souvent noté α_u et α_v .

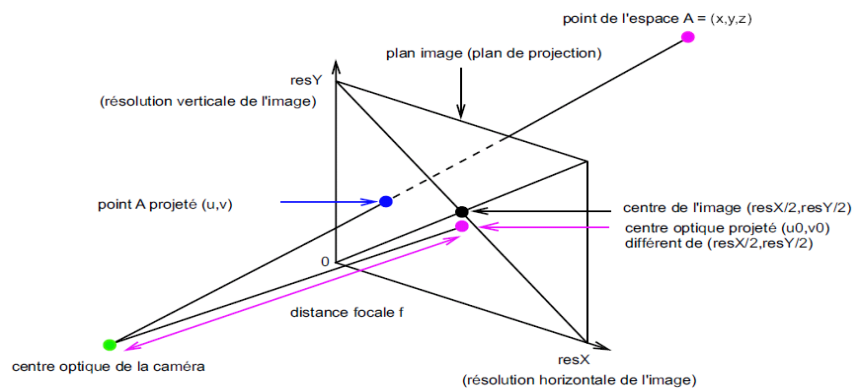


Figure 2.2 : Schéma d'une caméra avec la distance focal et la projection de l'axe optique

5.2. Les paramètres extrinsèques : [BOR 02]

Ils sont composés par les coefficients de la matrice M , dite matrice de transformation de la caméra.

$$M = (R \ T)$$

Ils correspondent à la transformation qui passe d'un repère de référence de l'espace, au repère caméra : il s'agit donc d'une translation générée par T (vecteur à 3 composantes) et d'une rotation générée par R (matrice 3×3) dans l'espace

6. Calibrage de caméra :

Une des tâches de base en stéréovision informatique est de calibrer l'appareil stéréo afin d'obtenir les paramètres qui vous permettront de calculer les informations 3D de la scène.

Le calibrage d'une caméra a pour but principal la détermination de ses paramètres intrinsèques. Pourtant, il est difficile de dissocier les paramètres intrinsèques de ceux extrinsèques lors de calculs. C'est pourquoi le processus standard de calibrage détermine les deux ensembles de paramètres simultanément.

Dans le cas d'un système stéréoscopique, chaque caméra est calibrée distinctement en utilisant une méthode de calibrage mono caméra, le résultat de cette opération est l'obtention de paramètres intrinsèques propres à chacune des caméras qui globalement resteront stables durant le reste du processus, et des paramètres extrinsèques propres à chaque caméra par rapport au même repère qui est le point « P1 » (voir Figure 2.3). [BEN10]

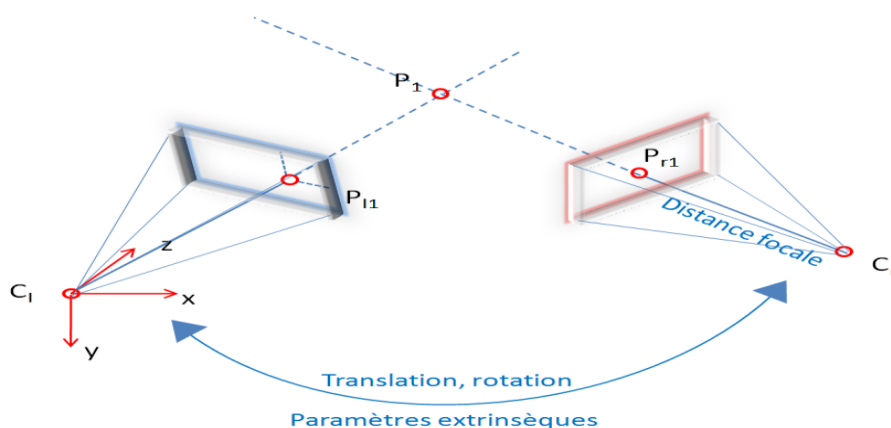


Figure 2.3 : Calibrage stéréoscopique de deux caméras.

Afin de calculer la position d'une caméra par rapport à l'autre, une simple opération matricielle est effectuée entre la matrice de translation/rotation de la première caméra par rapport au point « P1 » avec l'inverse de celle de la deuxième caméra.

Nous obtenons ainsi la translation/rotation de la caméra de droite par rapport à celle de gauche ainsi que les paramètres internes aux deux caméras (distance focale, distorsion optique et le point principal). Ces paramètres permettent de calculer la position spatiale de tout point dans l'espace visible par les deux caméras, en maintenant leurs positions respectives.

7. Classifications des méthodes et modèles de calibrage : [BEN10]

Dans le domaine de la photogrammétrie, différentes classifications des techniques de calibrages des caméras existent. La nature de l'application et la précision désirée dicte la méthode la plus appropriée pour un cas donné. Une première classification basée sur le modèle caméra peut être proposée :

Méthodes utilisant un modèle caméra basé sur la projection perspective : Ces méthodes nécessitent généralement une distorsion optique maîtrisée (pouvant être estimée). Généralement ce modèle exige plus de 5 points d'apprentissage (points connus d'une mire par exemple) en utilisant plusieurs images.

Due à sa nature non linéaire, ce modèle nécessite une méthode d'approximation de type moindre carré afin de trouver les paramètres géométriques des caméras.

Méthodes utilisant un modèle caméra projective : Un tel modèle est caractérisé par les matrices essentielle (matrice modélisant le positionnement de deux caméras dans l'espace) et fondamentale (matrice qui fait correspondre tous les pixels de deux images stéréo). Il peut gérer des distances focales variables ou inconnues, mais a besoin d'au minimum 6 à 8 points d'apprentissage pour faciliter l'obtention des paramètres géométriques des caméras (problème linéaire). Les paramètres de distorsion qui sont des paramètres non linéaires sont difficilement traités avec ce modèle.

D'autres critères peuvent être utilisés afin de classifier les méthodes de calibrage de caméras :

Modèles utilisant des grilles de point 3D au lieu des grilles 2D : Alors que certaines méthodes de vision par ordinateur et d'auto calibrage photogrammétrique peuvent gérer les deux cas, des modèles comme la matrice essentielle ne sont pas adaptés pour les grilles planaires.

Modèles basés sur des points et d'autres sur des lignes : Les méthodes de calibrage utilisant en entrée des points sont plus populaires en photogrammétrie, elles utilisent en entrée des points d'une mire d'damier par exemple. L'utilisation seule de lignes engendre des résultats intrinsèques moins robustes.

Des classifications plus spécifiques peuvent être faites à partir des paramètres d'estimation et la technique d'optimisation utilisée.

Techniques linéaires : Les techniques linéaires comme leur nom l'indique se basent sur des méthodes d'optimisation linéaire. Elles ont l'avantage d'être efficaces mais souffrent d'un manque de précision et de robustesse.

Techniques non linéaires. Ces techniques utilisent plutôt des méthodes d'optimisation non linéaires comme les moindres carrés par exemple. Elles fournissent des solutions précises et robustes mais nécessitent une bonne estimation initiale des paramètres. Dans la plus part des systèmes photogrammétriques quelques paramètres sont fournis par les constructeurs de caméra, comme la distance focale et la résolution du capteur optique.

Techniques combinant le linéaire et le non linéaire. Dans ce type de techniques, la méthode linéaire est utilisée pour récupérer les approximations initiales des paramètres, les paramètres de calibrage seront ensuite affinés itérativement par une méthode non linéaire

8. Principaux algorithmes de calibrage de caméra en vision par ordinateur : [BEN10]

Différents algorithmes pour le calibrage de caméras ont été proposés dans les domaines de la photogrammétrie et la vision par ordinateur. Les algorithmes sont généralement basés sur le modèle caméra perspective ou projective (modèle Pinhole).

Les modèles de calibrage pour la vision par ordinateur ont traditionnellement utilisés des grilles de référence. La matrice de calibrage est déterminée en utilisant plusieurs images d'une grille d'où des points de coordonnées connues peuvent être extraits (une mire d'damier par exemple). Les méthodes les plus connues et utilisées sont celles de Tsai, Heikkila & Silven et Zhang. Elles se basent toutes sur le modèle caméra « Pinhole » à projection perspective et incluent des fonctions de modélisation de la distorsion optique.

Le modèle de calibrage de Tsai suppose que certains paramètres de la caméra soient fournis par le constructeur, cela réduit l'estimation initiale des paramètres intrinsèques. Elle requiert « n » points par image ($n > 8$), et résout le problème de calibrage en utilisant « n » équations linéaires. Un deuxième modèle de distorsion radiale est utilisé quand aucun décentrement du point focal sur le CCD lié à la distorsion n'est considéré. Les deux étapes supporte aussi bien une entrée d'une ou plusieurs images d'une mire aussi bien planaire que tridimensionnelle, à condition que les coordonnées des points soit connus.

La technique développée par Heikkila & Silven extrait en premier lieu des estimations initiales des paramètres de caméras utilisant l'algorithme DLT (Direct Linear Transformation) ensuite une approximation non linéaire à base de moindres carrés et utilisant l'algorithme de Levenberg-Marquardt est appliquée afin de raffiner les paramètres intrinsèques incluant la distorsion. Ce modèle utilise deux coefficients pour la distorsion radiale et de décentrement, cette méthode supporte assez bien une entrée d'une ou plusieurs images d'une mire aussi bien planaire que tridimensionnelle.

La méthode Zhang requière des images d'une mire de calibration planaire placée à différentes orientations (plus que deux) face à la caméra. L'algorithme utilise la détection de coins afin d'extraire les points de la mire afin de calculer une transformation projective les points des « n » différentes images. Ensuite, les paramètres intrinsèques et extrinsèques sont calculés en utilisant des fonctions linéaires, tandis que les paramètres de distorsion sont optimisés avec une méthode non linéaire de type moindre carré.

9. Méthode de calibration utilisée dans notre projet :

La phase de calibration permet d'obtenir de façon automatique l'ensemble de ces paramètres. La calibration est aujourd'hui bien maitriser en vision par ordinateur.

Par exemple Open CV (Open Source Computer Vision Library développé par Intel) propose de déterminer les paramètres intrinsèque et extrinsèque d'une caméra à partir d'un certain nombre de prise de vue différentes d'un damier fait à partir de la caméra que l'on veut calibrer.

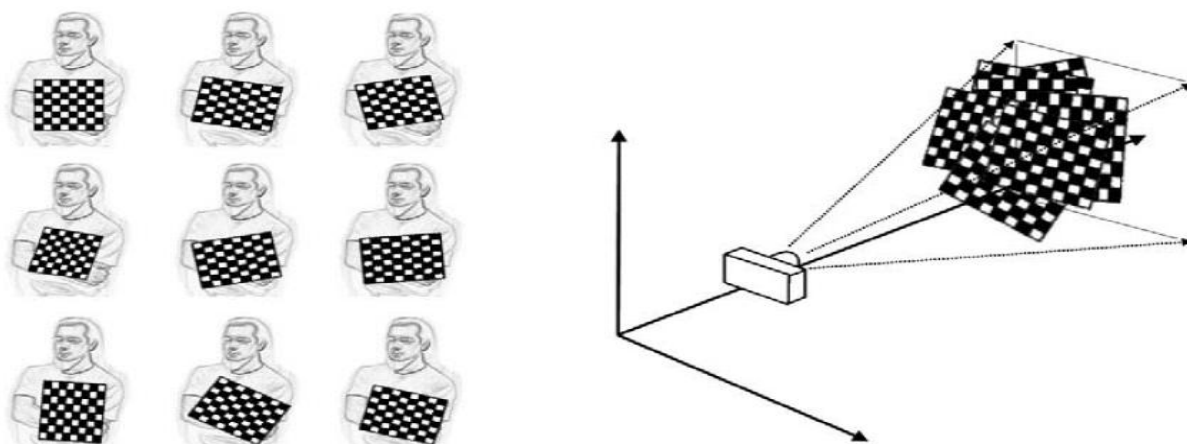


Figure 2.4 : prise de vue différentes d'un damier

En effet, le seul matériel à avoir à disposition, est un simple damier noir et blanc comme ceci :

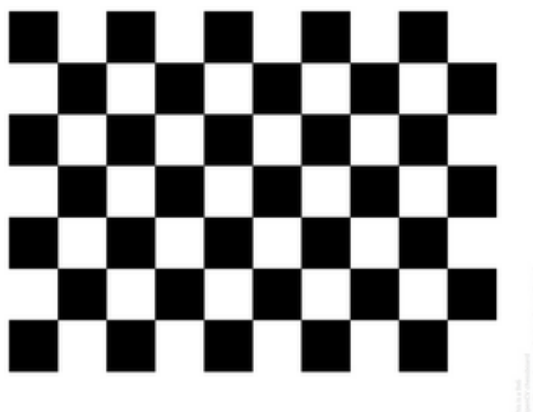


Figure 2.5 : La mire de calibration

Pourquoi un Damier? Parce que ses coins sont très faciles à trouver en utilisant des algorithmes de vision par ordinateur et sa forme est très simple. Afin de connaître la position de n'importe quel coin nous avons seulement besoin de savoir combien de carrés horizontaux et verticaux il ya dans le damier et la taille d'un carré. Le damier de l'image est un damier 9x6.

9.1. Protocole de calibration : [BOR02]

La calibration se fait en quatre étapes grâce aux fonctions fournis par la bibliothèque Open CV :

- Tout d'abord il faut extraire et suivre les points situés aux intersections des cases blanches et noires du damier.
- Ensuite il faut réordonner les points trouvés, pour qu'ils soient dans un certain ordre
- Puis connaissant les coordonnées de ces points sur l'image, il est possible de déterminer les paramètres internes de la caméra.
- Enfin il est possible de déterminer les paramètres externes de la caméra.

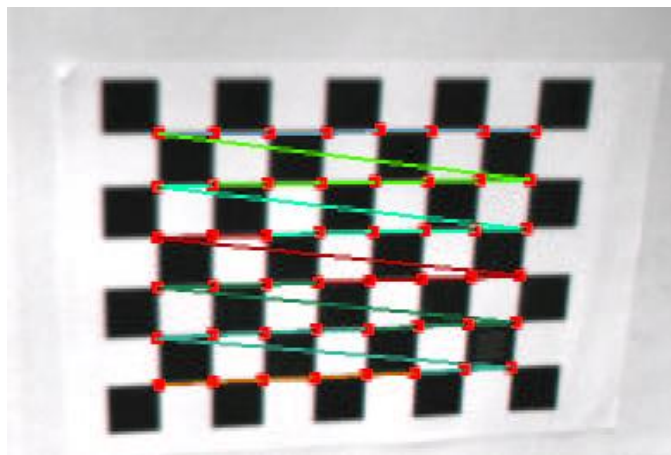


Figure 2.6 : Détection des coins des damiers sur la mire de calibration.

Afin de déterminer les coefficients de la matrice intrinsèque, il suffit de capturer au minimum 3 images du damier sous différents angles de vues et de stocker les intersections trouvées afin de pouvoir déterminer l'homographie dans le plan projectif de l'image. Ce sont les coefficients de la matrice d'homographie qui sont les coefficients de la matrice intrinsèque. Cette étape est réalisée de façon indépendante pour chaque caméra.

Les coefficients de distorsion sont déterminés a posteriori en corrigeant par itération successives les paramètres précédents.

9. La Géométrie épipolaire : [DUS 99]

Comme le montre la (Figure 2.7), lorsqu'un point M de la scène est visible simultanément par les deux caméras, sa projection dans les images nous donne deux points, notés m_1 pour la caméra gauche et m_2 la caméra droite. Pour un point m_1 , le lieu géométrique où se situe son stéréo correspondant dans l'autre image est une droite appelée droite épipolaire issue de m_2 et notée DE_2 . Cette droite est définie par l'intersection du plan support du triangle (C_1, C_2, m_1) et du plan support de l'image2. Toutes les droites épipolaires dans l'image2 (resp. image1) convergent vers un point, qui est l'intersection du droit portant le segment (C_1, C_2) et du plan support de l'image2 (resp. image1). Ce point est appelé, le centre épipolaire de l'image2 CE_2 (resp. image1 CE_1).

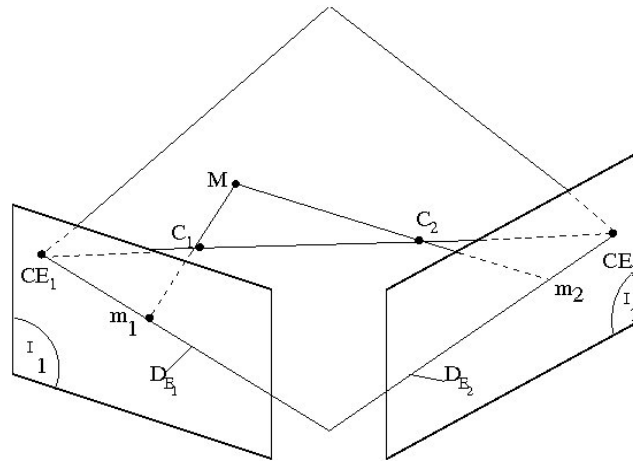


Figure 2.7 : Géométrie épipolaire.

Le droit épipolaire dans l'image1 (resp.image2), correspondant au pixel :

$(m_1 = (u_1, v_1, 1)^t$ de l'image1 (resp. $(m_2 = (u_2, v_2, 1)^t$ de l'image2), s'obtient en résolvant l'équation suivante :

$$\text{image1 : } m_2^t F^t m_1 = 0 \qquad \text{image2 : } m_1^t F m_2 = 0$$

F est la matrice fondamentale qui représente l'application, qui au point m_1 de l'image1 associe une ligne épipolaire d'équation Fm_1 (où se situe le stéréo-correspondant m_2 dans la seconde image).

10. La Rectification : [DUS99]

Dans le processus de reconstruction 3D, la rectification projective simplifie la mise en correspondance des pixels des images stéréo. En effet, le pixel correspondant dans l'image droite à un pixel de l'image gauche (et réciproquement), est positionnée sur la même ligne.

A partir de la connaissance de la géométrie épipolaire et donc de la matrice fondamentale, l'objectif est alors de déterminer une paire de transformations projectives, appelée homographies, qui réorientent les projections épipolaires parallèlement aux lignes des images, donc à l'axe horizontal des caméras rectifiées. La méthode de rectification consiste à réorienter les lignes épipolaires pour qu'elles soient parallèles avec l'axe horizontal de l'image. Cette méthode est décrite par une transformation qui projette les épipôles à l'infini et dont les points correspondants sont nécessairement sur la même ordonnée.

(Figure 2.8).

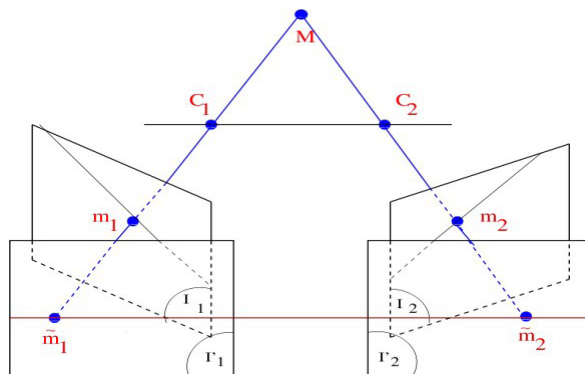


Figure 2.8 : Opération de rectification

Il existe deux types de rectification : la rectification d'images avec un système déjà calibré et la rectification d'images provenant d'un système non calibré. Dans notre travail, nous intéressons uniquement à la rectification projective à partir d'images calibrées et basée sur la géométrie épi polaire et donc sur la connaissance de la matrice fondamentale.

Et voici un exemple de rectification :



Paire stéréo d'origine

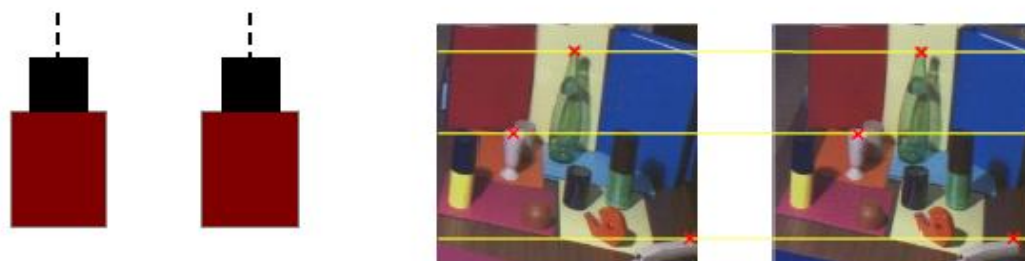


Figure 2.9 : Exemple d'une rectification.

11. Disparité et profondeur :

Avec l'installation stéréo sous le format standard et en considérant les triangles semblables ($P O_R O_T$ et $P p p'$)

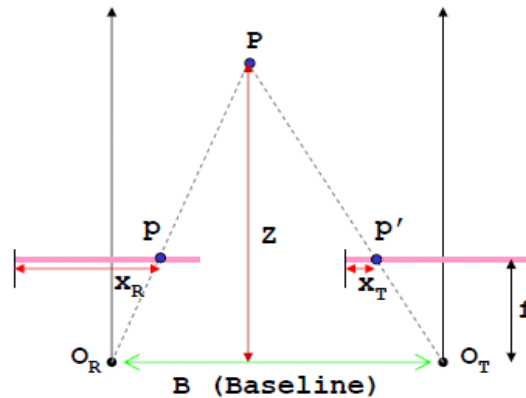


Figure 2.10 : Disparité et profondeur

$$\frac{B}{Z} = \frac{(B + x_T) - x_R}{Z - f} \Rightarrow Z = \frac{B \times f}{x_R - x_T} = \frac{B \times f}{d}$$

Où

- Z = distance le long de la caméra de l'axe Z
- f = longueur focale (en pixels)
- B = base line
- $d = x_R - x_T$ est la disparité.

X et Y peuvent être calculés en utilisant les équations habituelles de caméras projectives:

$$X = \frac{U \times Z}{f}$$

$$Y = \frac{VZ}{f} \quad \text{Où :}$$

- U et V sont les coordonnées de pixels dans l'image en 2D
- X, Y, Z est la position réelle 3d
- La disparité est la différence entre x de deux points correspondants ; elle est typiquement codée avec l'image à fond gris (des points plus étroits sont plus lumineux).
- La disparité est plus haute pour des points plus près de l'appareil-photo

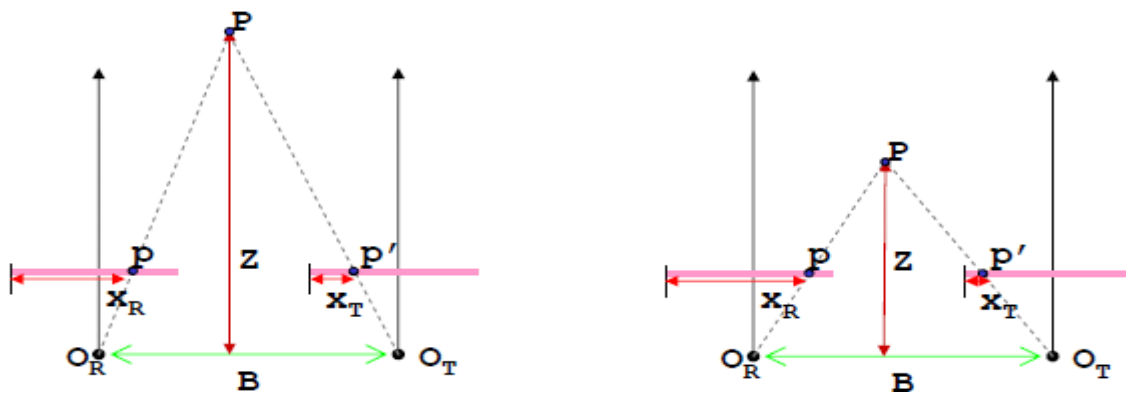


Figure 2.11 : La disparité

Conclusion :

Le problème du calibrage de caméras est un problème complexe, c'est un problème non linéaire qui nécessite une approximation afin de trouver une solution acceptable à une application donnée.

Les différents résultats obtenus sont discuté dans le chapitre suivant.

1. Introduction

Après avoir pris connaissance dans le chapitre précédent de la méthode de calibrage qui nous permet d'extraire les paramètres interne et externe des cameras, ce qui va nous aider à rectifier notre système et déterminer la position d'un objet en 3d, nous allons dans ce chapitre présenter la construction de l'application.

Le but de notre application est de calculer :

- la distance entre deux objets.
- La vitesse d'un objet en mouvement.

Nous allons dans un premier temps présenter les ressources utilisées et dans un second temps nous exposerons les résultats obtenus.

2. Ressources utilisées :

Les ressources physiques utilisées sont :

- Processeur pentium (R) « Dual-core CPU » d'une fréquence de 2.20GHZ.
- Une mémoire vive d'une capacité de 3Go.
- Une carte graphique de 1Go.
- Deux webcams.



Figure 3.1: les ressources physiques utilisées dans l'application.

Et pour ce qui est du côté soft :

- Système d'exploitation : Windows XP.
- Langage de programmation C++.
- L'éditeur utilisé est le **Qt** intégrer avec Open Cv.

Notre choix s'est porté sur celui-ci car il permet d'intégrer une interface graphique, en utilisant la syntaxe du langage C++. Il offre selon la guise du programmeur un travail en orientée objet, ou en programmation fonctionnelle.

2.1. Les ressources physiques :

2.1.1. Webcam :

a. Définition :

La webcam est un périphérique qui permet de capturer des images fixes ou animés. Autrement dit, la webcam est semblable a une camera : elle capture des images et les transfèrent à l'ordinateur.

b. Les caractéristiques de la webcam :

- Le capteur :

C'est l'organe essentiel de la webcam, celui qui déterminera la qualité de son image. Deux technologies sont utilisées pour équiper les webcams : les capteurs CCD ou CMOS. Si ces derniers possèdent des avantages certains en matière de coût et d'économie d'énergie, ils sont à l'heure actuelle moins performants que les capteurs CCD en termes de qualité d'image.

-La résolution :

Autre caractéristique du capteur à prendre en compte : sa résolution, c'est-à-dire le nombre de pixels des images qu'il produira.

-La vitesse :

A l'heure actuelle, toutes les webcams affichent un taux de 30 images / seconde.

-Le type de connexion :

Aujourd'hui, la majorité des webcams fonctionne avec un port USB.

Et voila les caractéristiques de la webcam utilisée dans notre projet :



Figure 3.2: Web Cam utilisée dans notre projet.

- HD vidéo (1280 x 720 pixels).
- Capture vidéo: jusqu'à 1280 x 720 pixels.
- Photos: jusqu'à 3.0 méga pixels (avec interpolation logicielle).
- Built-in mic avec technologie Logitech RightSound™.
- USB 2.0.

2.2. Les langages de programmation:

2.2.1. Qt :

La bibliothèque Qt est un framework orienté objet développé en C++ par Qt Development Frameworks, filiale de Nokia. Elle offre des composants d'interface graphique (widgets), d'accès aux bases de données, de connexions réseaux, de gestion des fils d'exécution, d'analyse XML, la 3D par OpenGL, le Javascript (ECMAScript), des outils d'internationalisation, etc. Qt est par certains aspects un framework lorsqu'on l'utilise pour concevoir des interfaces graphiques dont leur architecture utilise les mécanismes des signaux et slots par exemple.



Figure 3.3:Qt Logo.

Qt permet la portabilité des applications qui n'utilisent que ses composants par simple recompilation du code source. Les environnements supportés sont les Unix (dont Linux) qui

utilisent le système graphique X Window System, Windows et Mac OS X. Le fait d'être une bibliothèque logicielle multiplate-forme attire un grand nombre de personnes qui ont donc l'occasion de diffuser leurs programmes sur les principaux OS existants. Qt est libre et open-source sous la licence GNU/GPL et GNU/LGPL ainsi qu'une version commerciale.

2.2.2. OpenCV :

OpenCV est une bibliothèque libre de vision par ordinateur. Cette bibliothèque est écrite en C et C++ et peut être utilisée sous Linux, Windows et Mac OS X.

Des interfaces ont été développées pour Python, Ruby, Matlab et autre langage. Open CV est orienté vers des applications en temps réel.

Un des buts d'OpenCV est d'aider les gens à construire rapidement des applications sophistiquées de vision à l'aide d'infrastructure simple de vision par ordinateur. La bibliothèque d'OpenCV contient près de 500 fonctions.

Il est possible grâce à la « licence de code ouvert » de réaliser un produit commercial en utilisant tout ou partie d'OpenCV. Il n'est pas obligatoire de montrer le code du produit et les améliorations réalisées au domaine public.

3. Conception :

Le premier but de notre application est de calibrer notre stéréo-cameras en utilisant un mire (damier) afin d'obtenir les paramètres intrinsèques et extrinsèques qui nous permet de rectifier notre system stéréo et de calculer les informations 3D de la scène.

Notre travail se réalise en plusieurs étapes :

- Démarrer le calibrage stéréo-cameras.
- Charger les paramètres de rectification.
- Enregistrer une vidéo.
- Capturer un objet.
- Calculer la distance et la vitesse.

Ces étapes peuvent se résumer par l'organigramme suivant (*Figure3.4*) :

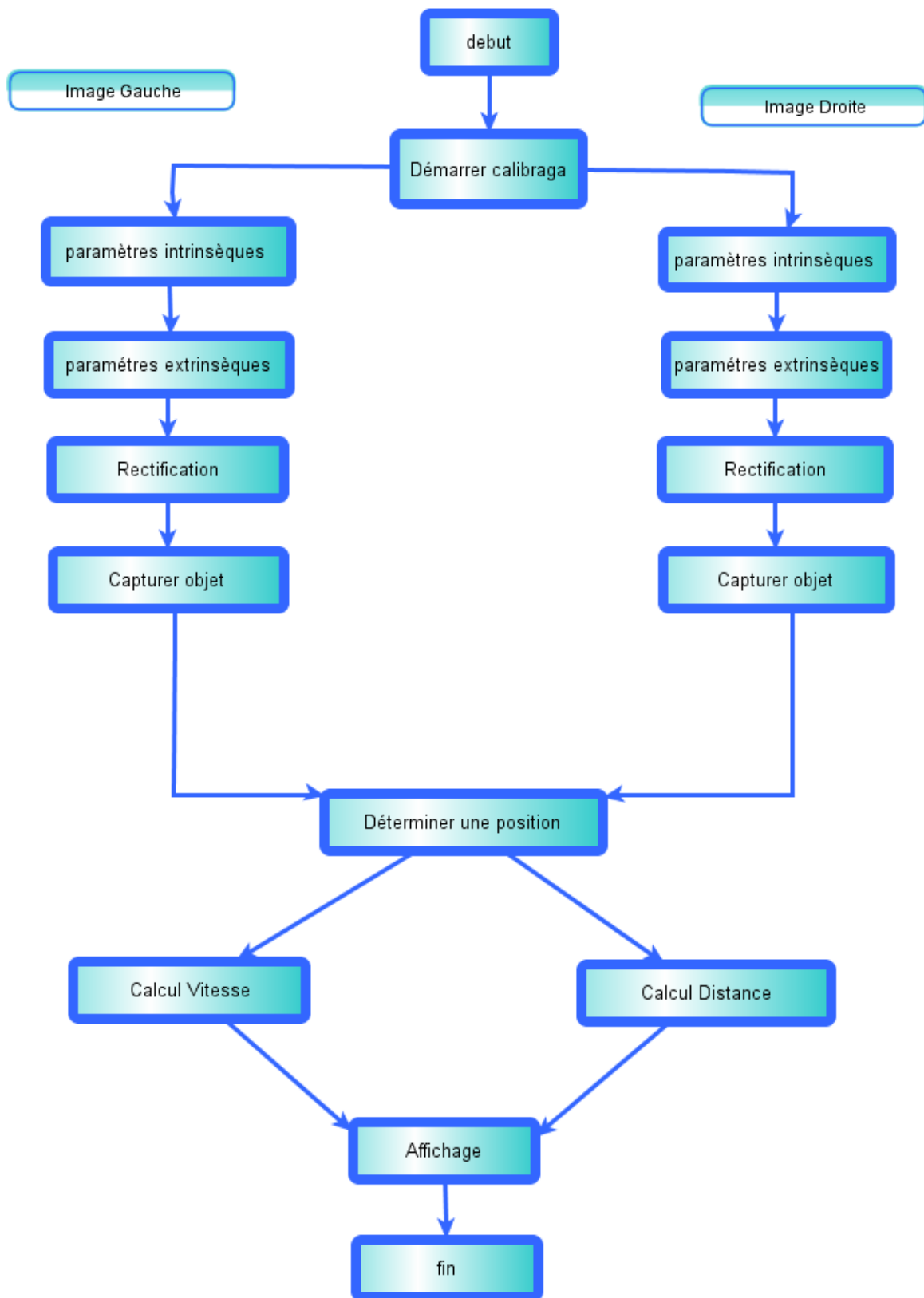


Figure 3.3: organigramme de l'application.

3.1. Présentation de l'application :

3.1.1. Interface d'accueil :

Nous commençons la présentation de notre application par l'interface d'accueil.

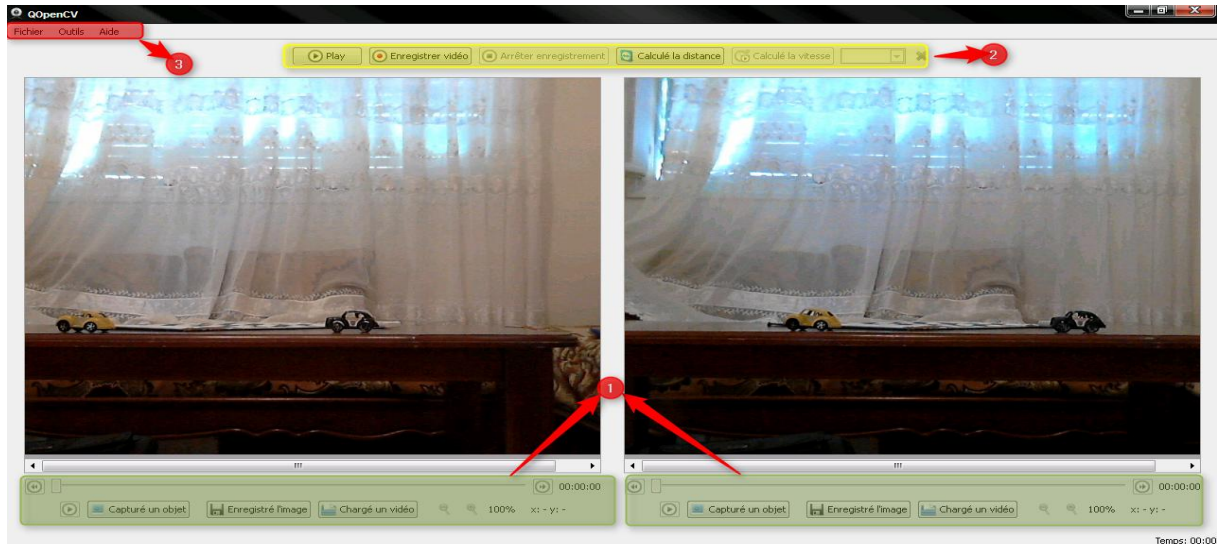


Figure 3.4: Interface d'accueil.

Notre interface principale se compose de :

Deux vue de cameras, chaque vue:

1-en bas de la zone de l'image :

- **Play /pause**: pour lire et arrêter la vidéo.
- **Capturer un objet** : pointer la position (x, y) d'un objet.
- **Enregistre une image** : pour enregistrer l'image actuelle.
- **Charger une vidéo** : pour charger une vidéo déjà enregistrée.
- **Suivant /précédent** : pour ce déplacer sur la vidéo.
- **Temps actuel** : permet d'afficher le temps actuel dans chaque vidéo.

2-En haut de la zone image, nous avons les boutons suivants :

- **Play /pause** : pour lire /arrêter les deux vidéo en même temps.
- **Enregistrer vidéo** : pour commencer l'enregistrement d'une vidéo.
- **Arrêter enregistrement** : pour terminer enregistrement.

- **Calculer distance** : pour calculer la distance entre deux positions.
- **Calculer vitesse** : pour calculer la vitesse d'un objet en mouvement.

3- Trois menus sont proposés sur la barre de menu :

- **Fichier** : contient deux composants :
 - **Charger les vidéos** : pour charger une vidéo déjà enregistrer
 - **Quitter** : pour quitter l'application.
- **Outils** : contient 3 composants :
 - **Calibration caméras** : pour démarrer la calibration.
 - **Charger les paramètres de calibration** : pour charger les paramètres de calibration dans les vidéos.
 - **Activer les cameras** : retour a la fenêtre principal.
- **Aide** : contient 1 composant :
 - **A propos** : le but de notre application.

3.1.2 Fonctionnement :

1-calibration caméras :

Pour calibrer les caméras il faut suivi ce chemin : Outils → calibration caméras ou bien un Ctrl+b sur le clavier.

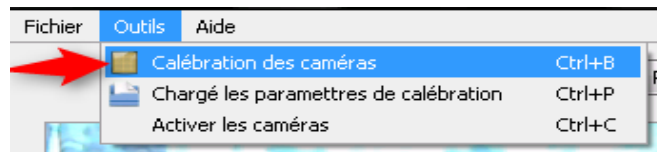


Figure 3.5: calibration des caméras.

Voici l'interface principale de calibration :

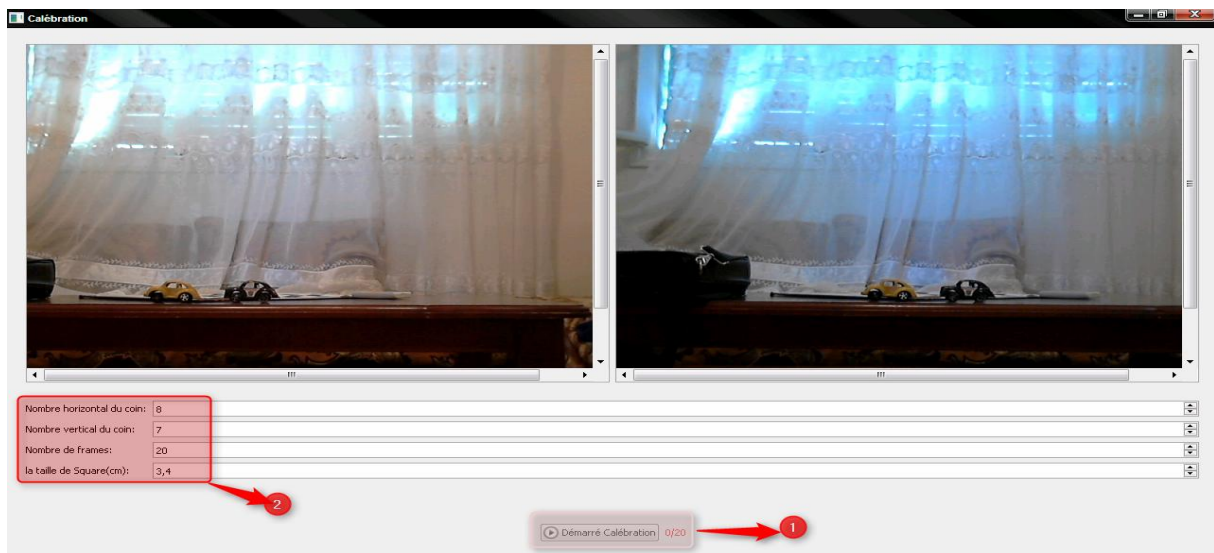


Figure 3.6: interface de calibration

Elle se compose par 2 prises de vues, en bas on a un seul bouton :

- **Démarré calibration** : pour commencer la calibration.

Aussi il existe 4 paramètres pour définir les dimensions du damier utilisé pour la calibration :

- **Nombres horizontal de coins** : nombres des coins horizontaux du damier.
- **Nombres verticale de coins** : nombres des coins verticaux du damier.
- **Nombre de positions** : les nombres des positions à détecter dans le processus de calibration.
- **La taille du carré** : la taille de carré du damier utilisé = 1 pixel.

La calibration était démarrée : On prendre plusieurs vues de damier dans différentes positions et orientations avec notre caméras stéréo à l'aide de notre application le programme commencera à montrer les points détectés:

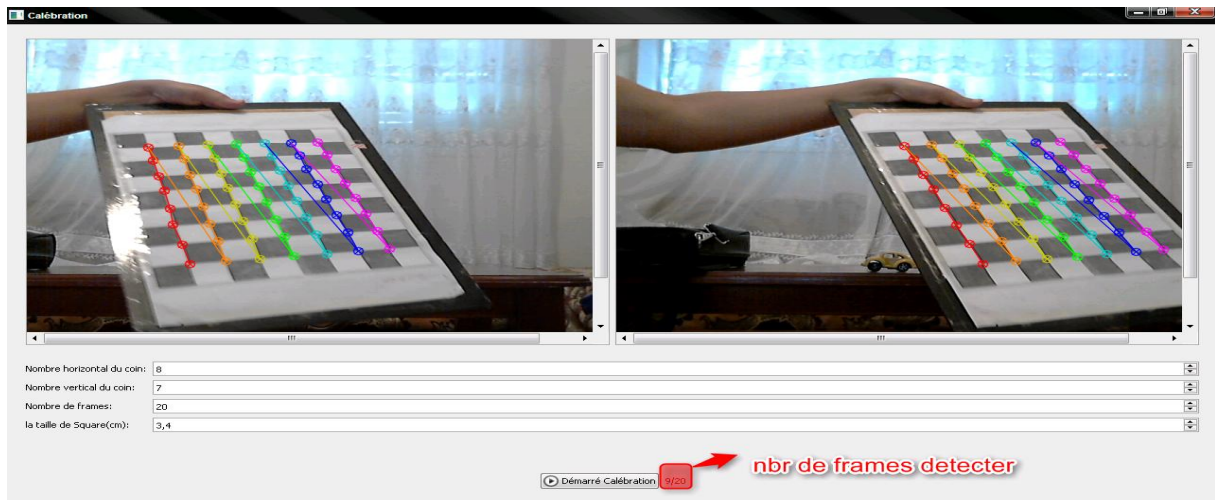


Figure 3.7: Démarrage de calibration.

La calibration est terminée :

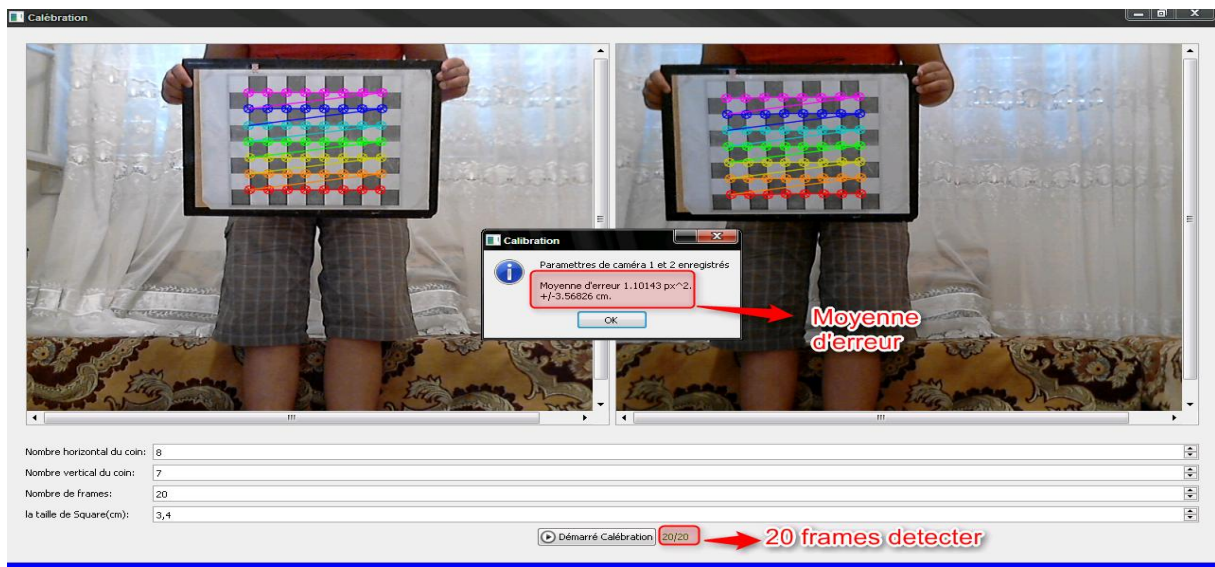
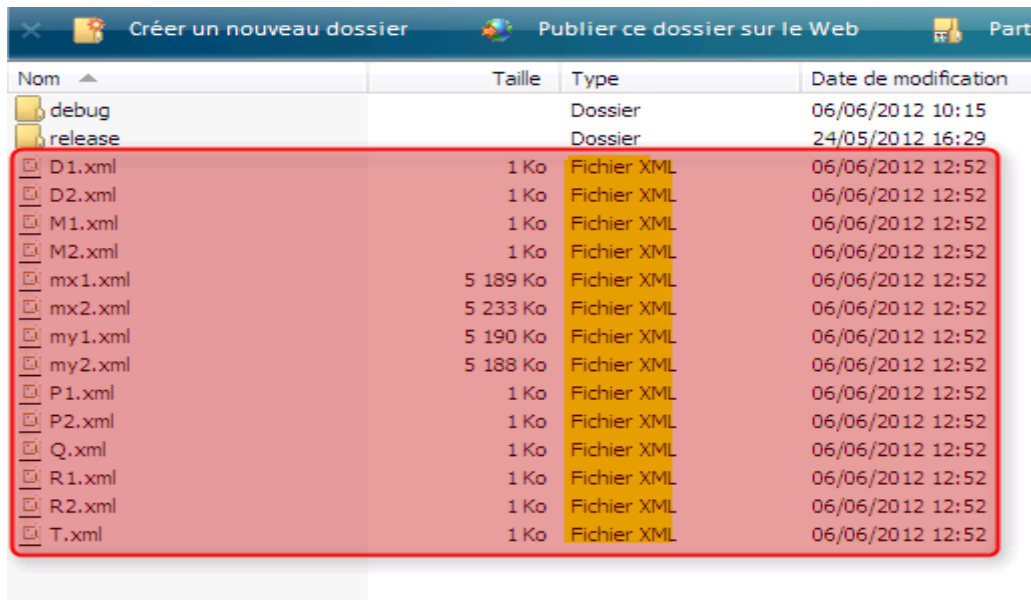


Figure 3.8: calibration terminée.

Le programme calcule les paramètres d'étalonnage et les stocke dans des fichiers XML



Nom	Taille	Type	Date de modification
debug		Dossier	06/06/2012 10:15
release		Dossier	24/05/2012 16:29
D1.xml	1 Ko	Fichier XML	06/06/2012 12:52
D2.xml	1 Ko	Fichier XML	06/06/2012 12:52
M1.xml	1 Ko	Fichier XML	06/06/2012 12:52
M2.xml	1 Ko	Fichier XML	06/06/2012 12:52
mx1.xml	5 189 Ko	Fichier XML	06/06/2012 12:52
mx2.xml	5 233 Ko	Fichier XML	06/06/2012 12:52
my1.xml	5 190 Ko	Fichier XML	06/06/2012 12:52
my2.xml	5 188 Ko	Fichier XML	06/06/2012 12:52
P1.xml	1 Ko	Fichier XML	06/06/2012 12:52
P2.xml	1 Ko	Fichier XML	06/06/2012 12:52
Q.xml	1 Ko	Fichier XML	06/06/2012 12:52
R1.xml	1 Ko	Fichier XML	06/06/2012 12:52
R2.xml	1 Ko	Fichier XML	06/06/2012 12:52
T.xml	1 Ko	Fichier XML	06/06/2012 12:52

Figure 3.9: les fichiers xml

Chacun des fichiers contient une matrice.

Nous obtenons ainsi nos paramètres de calibration, maintenant nous pouvons charger ces paramètres pour rectifier notre system.

2 Rectification :

Tous d'abord il faut charger les paramètres de calibration en suivant ces etapes :

Outils → Charger les paramètres de calibration ou bien un **Ctrl+p** sur clavier.

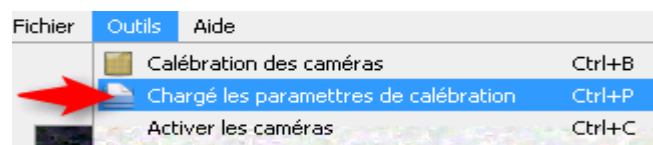


Figure 3.10: Charger les paramètres de calibration

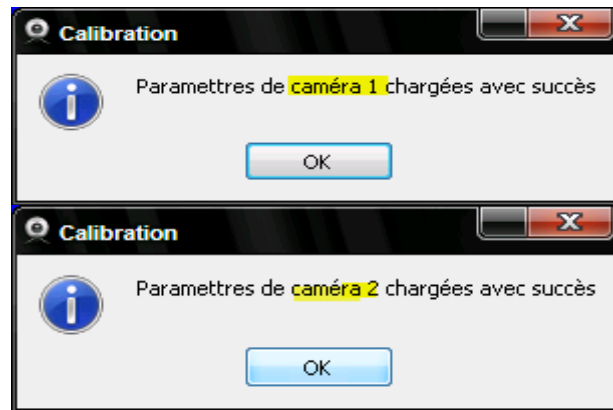


Figure 3.11 : chargement les paramètres de caméra 1 et 2.

Après cela notre system est rectifié :

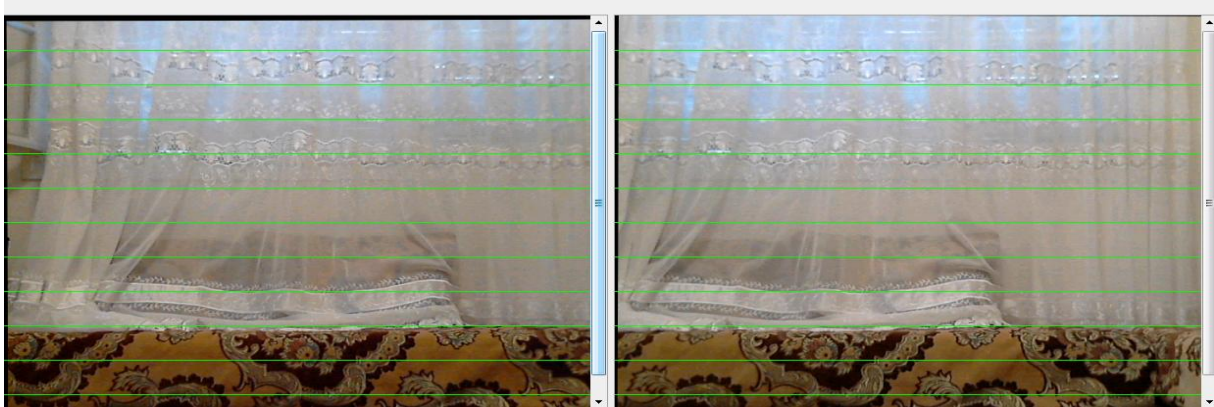


Figure 3.12:Rectification.

3 calcul les coordonnées d'un objet :

Pour calculer la position d'un objet et pout pointer dans l'image de caméra gauche et celle de la caméra droite :

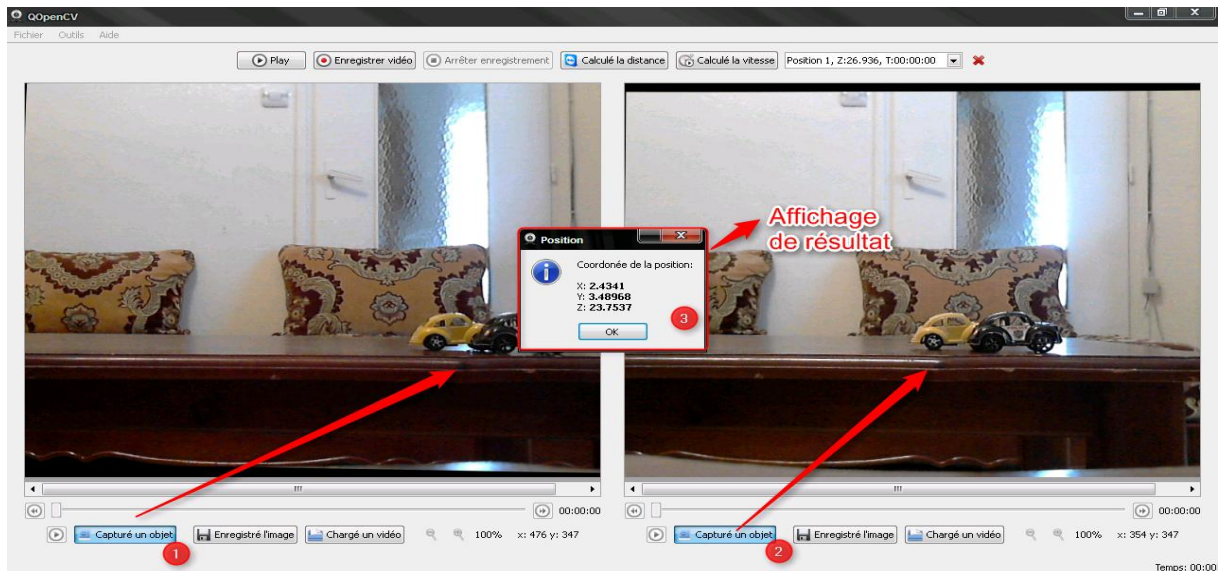


Figure 3.13: détermination de la position d'un objet.

4 Calcul distance :

Pour calculer la distance entre 2 objets il faut déterminer les positions des 2 objets dans la même scène tel que décrit plus haut.



Figure 3.14: calcul d'une distance entre 2 objets.

On calcule ensuite la distance entre la position 1 et la position 2, le résultat s'affiche comme suite:



Figure 3.15: affichage de résultat de distance.

5 Enregistrer une vidéo :

Pour enregistrer une vidéo il faut :

1. Cliquez sur le bouton « enregistrer vidéo ».
2. Le nom de vidéo à enregistrer.
3. Cliquez sur le bouton enregistrer.
4. Enfin pour arrêter en clique sur le bouton «arrêter enregistrement ».

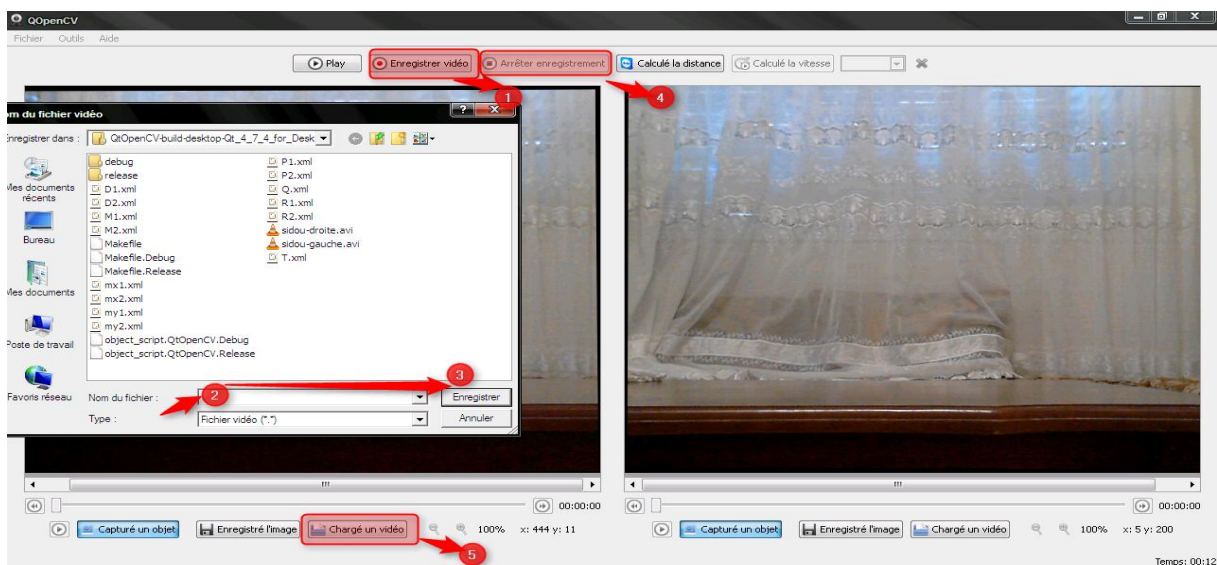


Figure 3.16: Enregistrement d'une vidéo

6 Calcul de vitesse :

On charge un vidéo qui est déjà enregistrer dans notre répertoire, et on calcul la position de notre objet à l'instante T.

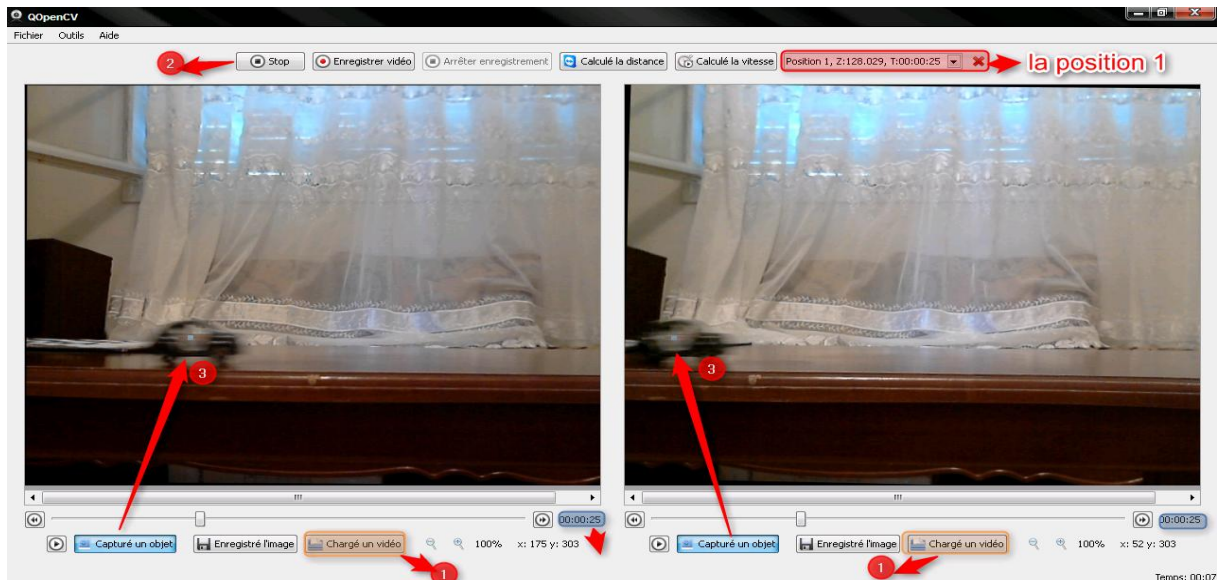


Figure 3.17: Calcul vitesse.

La même chose avec la 2^{em} position a l'instant T1, et en clique sur le bouton calcul la vitesse :

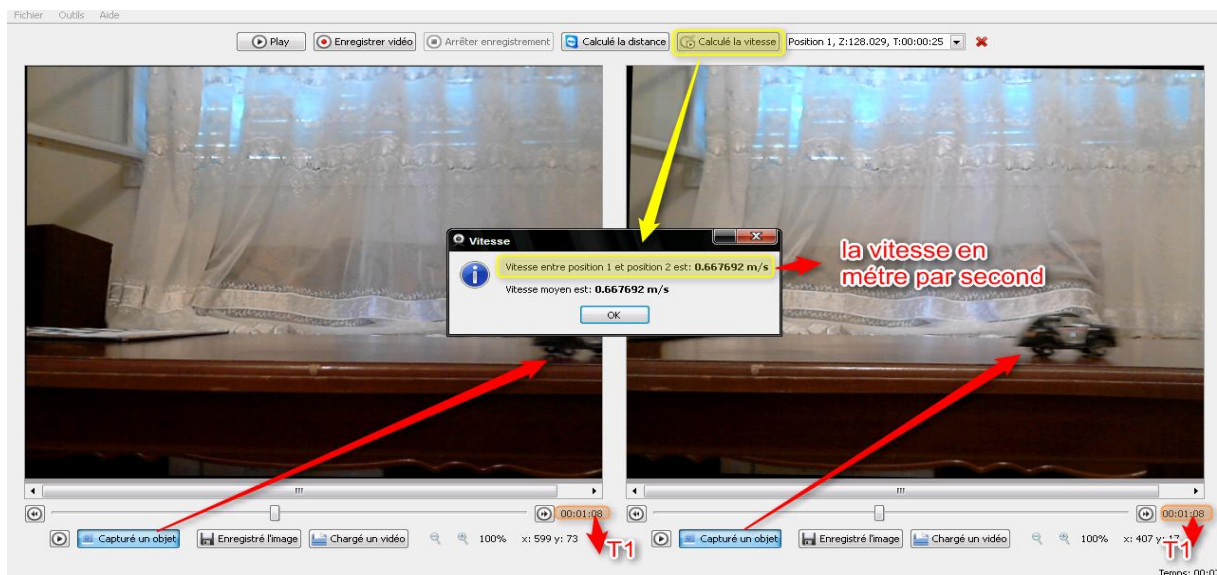


Figure 3.19: L'affichage résultat de calcul d'une vitesse.

4. Résultats et Discussion :

Pour connaître les paramètres qui peuvent influencer sur la réduction ou de l'augmentation de l'erreur de calcul (position, distance, vitesse) plusieurs expériences vont être nécessaires (erreur de calibration, distance entre l'objet et les caméras), Nous résumons ci-dessous les expériences réalisées et les différents résultats obtenus.

Test 01 :

Le but de ce test est de déterminer le taux le plus réduit de l'erreur de calibration, et les différentes expériences montrent que le changement de l'un de ces paramètres (la base, le nombre des coins verticaux et horizontaux, la taille de carré) et plusieurs influent sur les résultats (erreur).

Base=10 cm :

	Nombre des coins horizontal	Nombre des coins vertical	Taille de carré (cm)	Erreur (pixel)
Exp1	8	7	3,5	0,917
Exp2	8	7	2,4	1,234
Exp3	9	6	2,5	1,745

Base=20 cm :

	Nombre des coins horizontal	Nombre des coins vertical	Taille de carré (cm)	Erreur (pixel)
Exp1	8	7	3,5	0,857
Exp2	8	7	2,4	1,845
Exp3	9	6	2,5	2,564

Base=30 cm :

	Nombre des coins horizontal	Nombre des coins vertical	Taille de carré (cm)	Erreur (pixel)
Exp1	8	7	3,5	1,369
Exp2	8	7	2,4	2,054
Exp3	9	6	2,5	2,845

Discussion :

L'erreur de calibration obtenue dans les différentes expériences dépend énormément du damier utilisé (le nombre des coins verticaux et horizontaux, la taille de carré) ainsi que la base entre les 2 caméras.

On conclue à partir de ces différentes expériences:

-Pour minimiser le taux de l'erreur :

- Une base =20 cm.
- Un damier 8×7 .
- Taille de carré =3,5.

Test 02 :

La base (cm)	Distance (cm)	Z réel (cm)	Z Calculer (cm)	Erreurs
20	Petite distance (Entre 30 et 100)	30	29,39	0,61
		40	39,0552	0,9448
		50	48,134	1,866
		60	57,54	2,46
		80	77,01	2,99
		100	96,45	3,55
	distance moyenne (Entre 100 et 200)	120	115,45	4,55
		150	145,09	4,91
		180	174,28	5,72
		200	192,09	7,91
	grande distance (Entre 200 et 300)	230	219,56	10,44
		260	248,37	11,63
		300	277,43	22,57

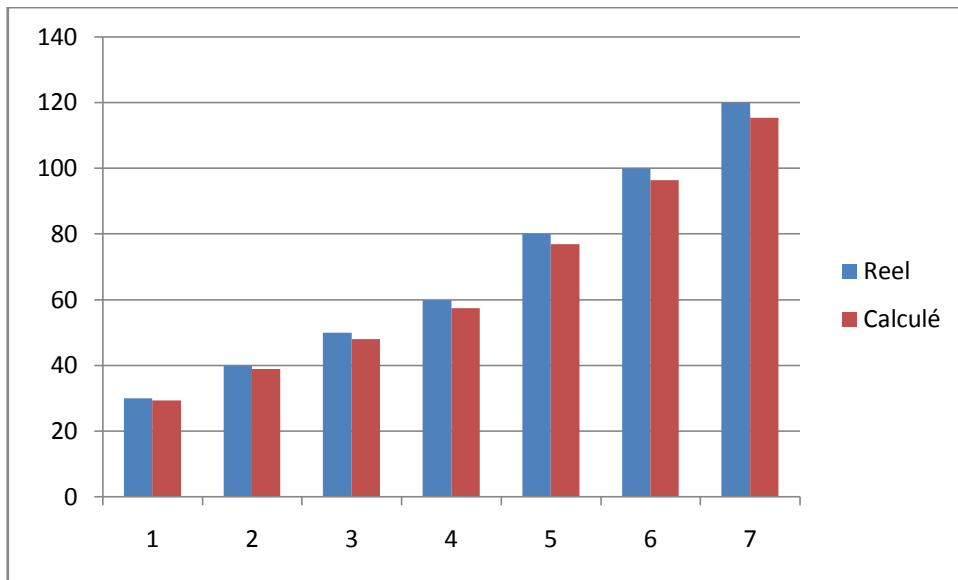


Figure 3. 20: graphe des erreurs.

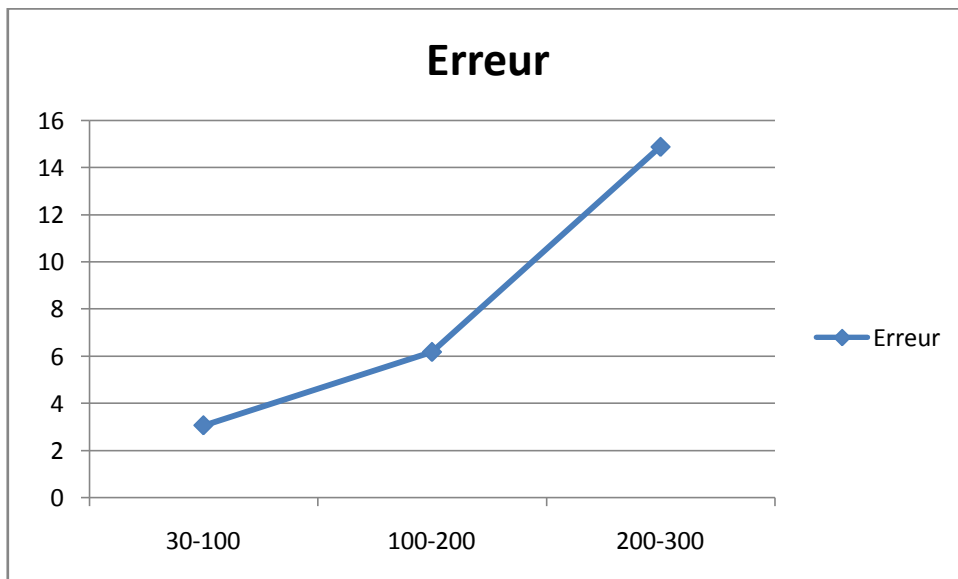


Figure 3.18 : le taux d'erreurs.

Discussion :

- Objet proches → une petite variation de l'erreur de mesure de distance.
- Objet lointains → une grande variation de l'erreur de mesure de distance.

5. Conclusion :

Donc, il n'ya pas de solution facile, il est inévitable d'obtenir plus d'erreur pour les objets éloignés, mais nous pouvons essayer d'atténuer les effets et de réduire l'erreur en obtenant un calibrage aussi bien que possible. Et pour ce faire nous devons prendre des captures de la mire dans autant de positions et des orientations différentes que possible, loin, près, inclinée, etc .. En peut aussi augmenter un peu la taille de l'échiquier qui va nous aider à obtenir une meilleure précision pour les objets éloignés. Une autre solution consiste à agrandir la base entre les 2 caméras pour les applications qui nécessitent des prises de vues éloignées

Nous avons essayé dans notre projet d'aborder la vision par ordinateur ou traiter le problème de la détermination de la position d'un objet par un couple de caméras en utilisant aussi les techniques photogrammétriques. Nous avons traité ce problème sans l'utilisation d'aucun matériel spécifique. Nous n'avons utilisé qu'un simple pc et des caméras grand public et bon marché. Ce qui peut expliquer en partie les erreurs observées.

Ce travail s'est déroulé en trois étapes :

Premièrement nous avons étudié la vision par ordinateur et son utilisation par plusieurs domaines ainsi que la vision stéréoscopique et les techniques photogrammétriques.

Deuxièmement nous nous sommes intéressés au modèle de caméra, et particulièrement aux paramètres nécessaires à la calibration (paramètres intrinsèques et extrinsèques), ensuite nous avons expliqué la méthode utilisée pour la calibration de nos caméras. La rectification de notre système a été traitée en utilisant les principes de la géométrie épipolaire.

Finalement, dans la partie implémentation et conception, nous avons présenté tout ce qui concerne notre application : les ressources utilisées, présentation de l'interface, son fonctionnement, ainsi que des tests et des résultats où nous avons essayé d'aborder le problème de la précision des mesures de formes 3D par stéréovision qui dépend de plusieurs facteurs :

- La qualité des caméras et leur résolution.
- La configuration des caméras (angle formé par leur axe optique).
- La précision du calibrage du capteur de vision stéréoscopique.
- La précision avec laquelle les points de mesure sont extraits dans chacune des images stéréoscopiques.

[AMR08] : Leila AMRANE, Méthodes d'appariement d'images basées sur des approches évolutives ,2008.

[ALB11]: Mohamed ALI-BEY, Contribution à la Specification ET à la Calibration des cameras Relief, 2011.

[ALE07] : DELIA ALEXANDRA DOLJANU, Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de maitrise et science appliquées, 2007

[BEL11]: Abdelkrim BELHAOUA, Planification et automatisation d'une reconstruction 3D par stéréovision, 2011.

[BEN10] : Acquisition d'images stéréoscopiques et calibration de caméras par algorithmes génétiques : application dans le domaine biomédical, Karim BENZEROUAL, 2010

[BOR 02] : Plate-forme Expérimentale multi-caméras, NICOLAS BOREL, 2002.

[DUS 99] : Rectification Projective d'Images Stéréo non Calibrées Infrarouges avec prise en compte globale de la minimisation des distorsions, B. Ducarouge, T. Sentenac F. Bugarin, M.Devy, 1999.

[EIZ96] : A. El Zaart, modèle de régularisation pour l'estimation de la disparité, Faculté des sciences, université de Sherbrooke, Québec, Canada, Octobre 1996.

[GUI97] : Xavier GUILLOTIN, MISE AU POINT D'UNE METHODE PHOTOGRAMMETRIQUE RAPIDE APPLIQUEE A L'ARCHEOLOGIE, 1997

[jan05] : Janvier Nicolas. Identification des caractéristiques d'une route par stéréovision mobile CMOS.2005

[JUN07] : Frank JUNK. Initiation à la vision 3D (Cours de photogrammétrie 3ème année de l'ESGT), 2007

[KAL08] : Mahzad KALANTARI, Michel KASSER, Photogrammétrie et vision par ordinateur, 2008.

[LAT 07]: Alexandra LATHUILIERE, Génération de mires colorées pour la reconstruction 3D couleur par system stereo-scopique de vision active, 2007.

[MAH09] : Anne-Claire MAHEO, Méthodes de suivi d'un objet en mouvement sur une vidéo, 2009.

[MOR04] : Cyrille MOROT. Page personnelle sur le logiciel Tiphon (développé par des élèves de l'INSA de Strasbourg). Il rappelle les principes généraux de la photogrammétrie terrestre dans cette page.<http://pagesperso-orange.fr/cyrille.morot/>

[MZA08] :M. ZAZ Abdessalam, Application ferroviaire de la photogrammétrie terrestre Optimisation des traitements, 2008

[SAI95] : Mémoire de fin de cycle En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Informatique Thème « La reconnaissance des objets polyédrique »Réalisé par: Mme Ait Kaci Azzou Samira Mr Saidani Abderrezak, 1995

[SIM 06] : Elisabeth SIMONETTO. Principe de photogrammétrie analogique et analytique, principes des prises de vues (Cours de photogrammétrie 1ère année de l'ESGT), 2005 et 2006.

[web01]:<http://www.irit.fr/~JeanDenis.Durou/ENSEIGNEMENT/VISION/COURS/co01.html>

[web02]:<http://www.irit.fr/~JeanDenis.Durou/ENSEIGNEMENT/VISION/COURS/co03.html>

[web03]:http://www.optiqueingenieur.org/fr/cours/OPI_fr_M04_C01/co/Contenu05.html

[web04]:<http://www.siteduzero.com/>

[web05]:<http://www.developpez.com/>.

[web06]:<http://www.codes-sources.com/>