

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences Appliquées

Département de Génie Electrique



Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et technologies

Filière : Génie électrique

Spécialité : Electrotechnique Industrielle

Présenté par :

Aouameur Abdelmadjid

Aloui Sadek

Thème :

**Localisation et Suivi en Temps Réel d'un Obstacle
Mobile par Stéréo Vision**

Soumis au jury composé de :

M ^r Rezoug Redha	MCB	Président	UKM Ouargla
M ^r Djarah Djalal	MAA	Encadreur/rapporteur	UKM Ouargla
Mme Zidani Ghania	MCB	Co-Encadreur	Université De Batna
M ^r Benmakhlouf Abdeslam	MAA	Examineur	UKM Ouargla

Année universitaire 2020/2021



Remerciements

Tout d'abord, Nous remercier Dieu de nous avoir accordé la grâce de terminer ce mémorandum, nous donnant la volonté, la patience et le courage de faire cet humble travail.

*Nous remercier Monsieur « DJARAH DJALAL » pour sa supervision, son intégrité et toute l'aide qu'il nous a apportée au cours de cette lettre.
Merci également pour votre confiance et votre soutien.*

Nous tenons également à exprimer notre profonde gratitude à Madame " ZIDANI GHANIA ", qui supervise également ce travail et nous vous remercions pour vos efforts et vos précieux conseils.

Nous tenons également à exprimer nos remerciements et nos plus profonds sentiments de respect et d'appréciation au Monsieur le Président «REZOUG REDHA » Pour avoir accepté de présider le comité de discussion.

Je n'oublie pas non plus le Monsieur l'examineur «BENMAKHLOUF ABDSLAM» pour ses efforts et pour avoir veillé

à ce que cette note soit scrutée et discutée, et je le remercie beaucoup pour ses remarques précieuses et bonnes.



Dédicace

A qui la préférerais-je à moi-même. et pourquoi pas, elle s'est sacrifiée pour moi et n'a ménagé aucun effort pour me rendre toujours heureuse

(Ma mère bien-aimée)

Nous marchons dans les chemins de la vie et celui qui contrôle nos esprits dans chaque chemin que nous empruntons reste celui avec un bon visage et de bonnes actions, et il n'en a pas piqué toute sa vie

(Cher père)

Et tous mes frères Belkacem, Belkheir, Mehamed al-Mahdi.

Et mes soeurs

Et à leurs épouses et maris, Hussein et Murad

Et à tous leurs enfants.

Et à mes amis, Oussama Bouazza, Mustapha Ben Sayeh, Abdel Basset Boukhta, Anwar Ben Atta Allah, Mabrouk betteka, chuaib Gheribi et Sofiane Bidiaf.

Et comme je n'oublie pas mon enseignant au primaire, Fatima Rabei, et enseignant encours de soutien, Toumiea Aouameur, qui, sans eux, ne seraient pas là.

Et à tous ceux qui m'ont soutenu et aidé dans tous les domaines, je vous présente cette note et j'espère qu'elle vous satisfera.

Aouameur Abdelmadjid



Dédicace

À la fontaine de la patience, de l'optimisme et de l'espoir à tous ceux qui existent, "Ma chère mère".

A mon soutien, ma force et mon refuge après Dieu, à celui qui m'a appris le sens de la vie, "Cher Père"

Et à tous mes frères et sœurs qui m'ont appris le sens de la vie et le vrai sens de la fraternité.

Et à tous mes amis

Aloui Sadek

Sommaire

Sommaire

Remerciements

Dédicace Sommaire

Liste de Figure

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction générale..... 1

Chapitre I : Présentation générale du robot et de ses capteurs.

I 1. Introduction..... 3

I 2. Composantes principales d'un robot mobile 3

I 2. 1. Structure mécanique..... 5

I 2. 2. Servomoteur (actionneur)..... 5

I 2. 3. Capteurs 5

I 2. 4. Cerveau 6

I 3. Les Cameras..... 7

I 3.1. Camera simples..... 8

I 3.2. Cameras stéréoscopiques 8

I 4. Les télémètres 10

I 4.1. Principe de fonctionnement des télémètres..... 10

I 4.2. Télémètres à ultrason 11

▪ Principe de fonctionnement des télémètres à ultrasons 11

I 4.3. Télémètres à infrarouge 12

▪ Principe de Télémètres à infrarouge..... 13

I 4.4. Télémètres laser 13

▪ Principe de fonctionnement des télémètres laser..... 14

▪ Remarque 15

I 5. Conclusion 15

Chapitre II : La stéréo vision.

II 1.Introduction..... 17

II 2.La stéréovision..... 17

II 2.1.Définition	18
II 2.2.Principes de la stéréovision.....	18
II 2.3.Les différents types de la stéréovision	20
a) La stéréovision passive.....	20
II 3.Vision binoculaire: la stéréoscopie	22
II 3.1.Vision binoculaire.....	23
▪ Définition	23
II 3.2.La stéréoscopie	24
▪ Définition	24
▪ Historique de la stéréoscopie.....	26
II 4.Géométrie stéréoscopique.....	28
II 4.1.La géométrie épipolaire [29].....	28
II 4.2.Le calibrage.....	29
II 5.Appariement stéréoscopique.....	30
II 6.Conclusion.....	30

Chapitre III : Résultats et discussion

III 1.Introduction	32
a) Explication du fonctionnement des capteurs.....	32
b) Avantages des capteurs de caméra stéréo.....	32
III 1.1.Flux de travail stéréo vision.....	34
III 2. Calibrage de la caméra	34
III 2.1 Application de Calibrage de caméra stéréo	36
b) Présentation de Calibrage de la caméra stéréo [S16]	36
III 3. La rectification des images des deux caméras.....	45
III 3.1 Apres rectification	47
III 4. Mesure de la Disparité.....	47
III 5. Reconstruire de la scène en 3D	48
III 6. Détection d'objet et segmentation.....	49
III 7. Mesure de la distance entre l'objet et la camera	49
III 8. CONCLUSION	51
Conclusion générale	52

Résumé

Références

Liste de Figure

Liste de Figure

Chapitre I

Figure I.1 : Schéma des interactions d'un robot avec son environnement.	3
Figure I.2 : Quelques exemples différents de robots mobiles.....	4
Figure I.3 : Exemples de robots commerciaux ou de recherche [3].....	5
Figure I.4 : Un dessin montrant les composants de base d'un robot mobile.....	6
Figure I.5 : Certaines caméras utilisées dans les robots mobiles.	7
Figure I.6 : Une variété de caméras simples utilisées dans les robots mobiles.	8
Figure I.7 : Représentation de l'apparence des caméras stéréoscopiques d'objet[S3].....	9
Figure I.8 : Exemples de caméras utilisées dans l'imagerie 3D [S3].....	9
Figure I.9 : Diagramme schématique montrant le principe des télémètres[S5].	10
Figure I.10 : Télémètres à ultrason.....	11
Figure I.11 : Principe de fonctionnement des télémètres à ultrasons [S7].	12
Figure I.12 : Télémètres à infrarouge.	12
Figure I.13 : Principe de Télémètres à infrarouge [S9].	13
Figure I.14 : Télémètres laser.	13
Figure I.15 : Principe de triangulation du télémètre laser [11].....	14
Figure I.16 : Méthode de mesure du temps de vol [S10].....	15

Chapitre II

Figure II .1: (a) Configuration stéréo canonique sur un système stéréo du prototype PICASSO (Plateforme d'Intégration de Capteurs multi Sensoriels), avec deux caméras dans le visible entourant une caméra thermique, (b) Système de stéréovision Bumble Bee2 fabriqué par Point Grey Researchc.....	19
Figure II .2: (a) Géométrie épipolaire quelconque. (b) Géométrie épipolaire rectifiée.	20
Figure II .3: Principe de stéréovision passive.	21
Figure II .4 : Principe de la stéréovision active.	22
Figure II .5 : Principe d'un système de vision stéréoscopique.....	23
Figure II .6: Le champ visuel monoculaire de l'œil droit est à droite et l'œil gauche est à gauche.....	24
Figure II .7 : Deux photos prises, une dans l'œil gauche et l'autre dans l'œil droit.	26
Figure II .8 : Deux caméras utilisées pour la prise de vue en stéréoscopie [musée des sciences 1860]	26
Figure II .9: FUJIFILM FinePix REAL 3D W1.....	27
Figure II .10 : Caméra stéréoscopique, Roland Garros 2008.....	27
Figure II .11 : La géométrie épipolaire.	28
Figure II .12 : Algorithme de calibration.....	30

Chapitre III

Figure III.1 : Organigramme Fonctionnel	33
Figure III.2: Les étapes de la stéréo vision.....	34
Figure III.3 : Caméras Web et échiquier utilisés pour le calibrage.	36
Figure III.4 : Images utilisées pour le calibrage.....	38
Figure III.5 : Icône de Stereo Camera Calibrator et APPS.....	38
Figure III.6 : Icône ajouter des images et choisir des images.	39

Figure III.7 : Comment calculer la taille d'un échiquier.	39
Figure III.8: D'analyse d'image.	40
Figure III.9 : Achèvement de calibrage.	41
Figure III.10 : formes de paramètres externes.	41
Figure III.11 : Graphique des erreurs de reprojection.	42
Figure III.12 : Moyenne globale des pixels d'erreur.	42
Figure III.13 : Les paramètres intrinsèques des deux caméras.	43
Figure III.14 : Images des icônes IntrinsicMatrix, RadialDistortion et TangentialDistortion.	43
Figure III.15 : Images et icônes WorldPoints, TranslateVectors, RotationMatrices, RotationVectors, ReprojectrdPoints et MeanReprojectionError.	44
Figure III.16 : (a) Image originale de la caméra gauche, (b) Image originale de la caméra droite.	46
Figure III.17 : Images non rectifiés.	46
Figure III.18 : Images rectifiés.	47
Figure III.19 : Carte De Disparité.	48
Figure III.20 : Reconstruire la scène en 3D.	48
Figure III.21 : Détecteur de Personne.	49
Figure III.22 : Détecteur de personne et mesure de distance.	50

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Chapitre III

Tableau III.1: Paramètres de calibrage des caméras.	35
Tableau III.2: Résultats des mesures de distances.....	50

Liste des abréviations

Liste des abréviations

Vitesse : La vitesse à laquelle les ondes lumineuses ou sonores se propagent.

Temps : Le temps mis par le signal pour revenir à son origine après avoir rebondi sur un obstacle.

Distance : est la distance entre l'obstacle et l'émetteur

d : C'est la distance entre l'objet à mesurer et le télémètre laser.

b : C'est la distance entre l'élément émetteur et l'élément récepteur du télémètre laser.

α : l'angle de retour du faisceau laser

Introduction générale

Introduction générale

Les robots autonomes sont devenus un sujet de recherche pour le développement de tous les pays industrialisés. Qu'il s'agisse d'un robot mobile avec jambes et roues, ou d'un robot mobile sous-marins et autres, leurs applications sont larges et diverses : robots de service, surveillance, construction, nettoyage, manutention de charges, voitures intelligentes, robots d'intervention etc.

Le marché potentiel de la robotique est énorme, même s'il s'agit de résoudre des problèmes plus vastes et plus fondamentaux que prévu initialement dans la recherche de machines intelligentes.

Ces dernières années, la communauté robotique s'est de plus en plus intéressée au développement de systèmes intelligents autonomes dans le cadre de robots mobiles. Cet intérêt peut être vu comme une suite logique des applications potentielles des machines intelligentes (industrie, services, transports et même assistance mobile aux personnes âgées ou handicapées, etc.). L'objectif est de permettre au robot d'effectuer diverses tâches, comme intervenir dans des endroits inattendus, manipuler des emplacements sensibles ou nucléaires, et explorer des emplacements océaniques et planétaires... etc.

L'intérêt principal des robots mobiles actuels est le développement de systèmes de navigation intelligents, dans lesquels la navigation autonome est un axe de recherche conçu pour permettre à la machine de se déplacer dans l'environnement sans aide ni intervention humaine pour atteindre le but recherché.

Pour cette raison, le plus gros problème auquel sont confrontés les robots mobiles est de savoir comment accéder à leur environnement externe. La solution consiste à installer des capteurs sur le robot mobile pour obtenir suffisamment d'informations pour traduire l'environnement externe du robot mobile.

Cette solution est représentée dans la production de caméras stéréo, qui peuvent fournir des informations précises aux robots mobiles, car ils fonctionnent sur le principe de la mesure de la distance des objets et du dessin d'une image en trois dimensions.

L'objectif principal de la stéréo vision est qu'elle peut être utilisée pour localiser un objet dans un espace 3D. Il peut également fournir des informations précieuses sur cet objet (telles que la couleur, la texture et les motifs qui peuvent être utilisés par des machines intelligentes pour la classification).

Les capteurs de caméra de stéréo vision 3D offrent des avantages supérieurs aux capteurs de caméra conventionnels monoscopiques standard. Le principal avantage du capteur de caméra de stéréo vision 3D est qu'il peut fournir une vue spatiale optique supplémentaire en raison du format d'imagerie stéréo de la capture côte à côte qui est basé sur le facteur de disparité, les informations de profondeur 3D et l'évitement de l'occlusion.

Enfin, Ce travail donne les différentes étapes nécessaires pour permettre d'utiliser la stéréovision comme système de perception qui mesure la distance entre les caméras et les obstacles détectés pour la navigation d'un robot mobile. Pour cela, ce travail sera scindé en trois chapitres. Le premier chapitre présentera les différents capteurs utilisés dans la conception d'un système de perception pour les robots en générale. Le deuxième chapitre les théories sur la stéréovision seront traitées. Le dernier chapitre parlera de la mise en place d'un système dont le but est de détecter et mesurer la distance entre les caméras et les obstacles détectés.

Chapitre

I

Présentation générale des robots et de leurs capteurs

I 1. Introduction

L'objectif de ce chapitre est de donner un aperçu sur les robots mobiles et leurs composants, et nous nous concentrerons, en particulier, sur les capteurs utilisés.

Après une présentation simple et brève d'introduction sur les robots mobiles, nous étudierons les capteurs de ces robots, à travers lesquels les robots effectuent leurs différentes tâches dans des domaines nombreux et variés.

Nous tenterons de classer ces capteurs en fonction des cas et de l'environnement entourant le robot, et en fonction des erreurs attendues de leur part.

Enfin, nous concluons en répondant à la question, lequel de ces capteurs est le plus précis et capable de s'adapter à tous les environnements.

I 2. Composantes principales d'un robot mobile

Il existe différentes définitions du terme robot, mais elles tournent généralement autour du concept suivant : *un robot est une machine dotée de capacités de perception, de décision et d'action, ce qui lui permet d'agir de manière autonome dans son environnement en fonction de sa perception de celui-ci [1].*

Cette définition est illustrée par un schéma des interactions du robot avec son environnement (Figure I.1).

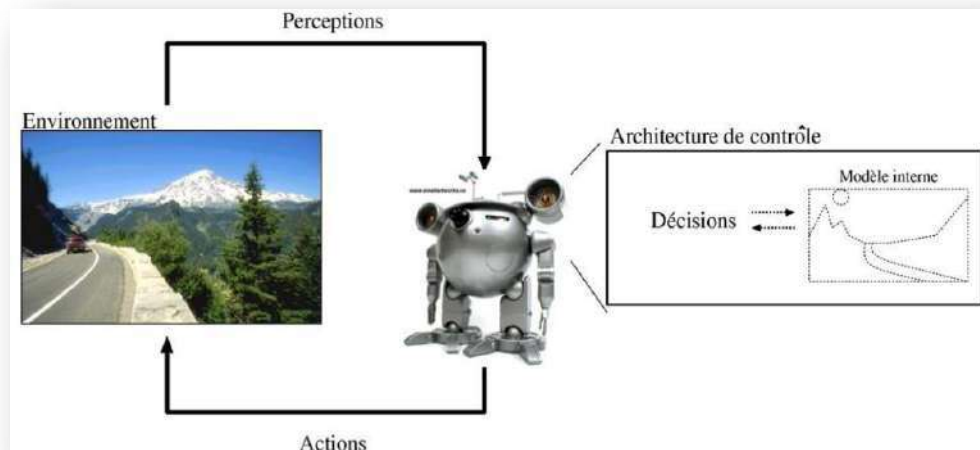


Figure I.1 : Schéma des interactions d'un robot avec son environnement.

Les robots sont des dispositifs électromécaniques (combinant les technologies mécaniques, électroniques et informatiques) équipé de capteurs et d'effecteurs, de sorte qu'il ait la capacité de s'adapter et de se déplacer proche de l'autonomie [S1].

De manière générale, on peut définir un robot comme un agent physique qui effectue des tâches dans son environnement d'exploitation (Figure I.2) [2].



Figure I.2 : Quelques exemples différents de robots mobiles.

Les applications robotiques peuvent être trouvées dans une grande variété d'activités « Industrielles, sanitaires, scientifiques ou militaires, ... », et elles peuvent également être trouvées dans des applications récréatives ou de service, telles que l'aide aux personnes âgées ou handicapées (Figure I.3).

Nous mentionnons certaines des applications utilisées dans divers domaines, notamment :

- Industrie nucléaires : - surveillance de sites- manipulation de matériaux radioactifs - démantèlements de centrales.
- Sécurité civile : - neutralisation d'activité terroriste- déminage- pose d'explosif- surveillance de munitions.
- Chimique : - surveillance de site- manipulation de matériaux toxiques.
- Mine : - assistance d'urgence.
- Agricole : - cueillette de fruits- traite, moisson, traitement des vignes.
- Espace : - exploration.
- Industrie : - convoyage- surveillance.

- Sous-marine - pose de câbles- recherche de modules- recherche de navires immerges- inspection des fonds marins.



Figure I.3 : Exemples de robots commerciaux ou de recherche [3].

Un robot intelligent est un assemblage complexe de pièces électromécaniques (structure) et de pièces électroniques (cerveau), le tout pouvant être piloté par une intelligence artificielle. Lorsque les robots autonomes sont mobiles, ils possèdent également une source d'énergie embarquée : généralement une batterie d'accumulateurs électriques [S2].

Un robot est composé de quatre groupes de composantes principales (Figure I .4).

I 2. 1. Structure mécanique

C'est le squelette du robot, qui se compose de membres capables de se déplacer librement selon un certain degré [S2].

I 2. 2. Servomoteur (actionneur)

Le servomoteur va faire traiter le robot en fonction de son objectif et en fonction des informations collectées par le capteur, de manière à exécuter les actions commandées par son cerveau [S2].

I 2. 3. Capteurs

Le capteur est responsable de la partie sensorielle du robot. Ils sont utilisés pour obtenir des informations sur l'environnement du robot ou de ses composants internes [S2].

I 2. 4. Cerveau

Le cerveau du robot permet d'analyser les données provenant des capteurs et d'envoyer les ordres relatifs aux servomoteurs [S2].

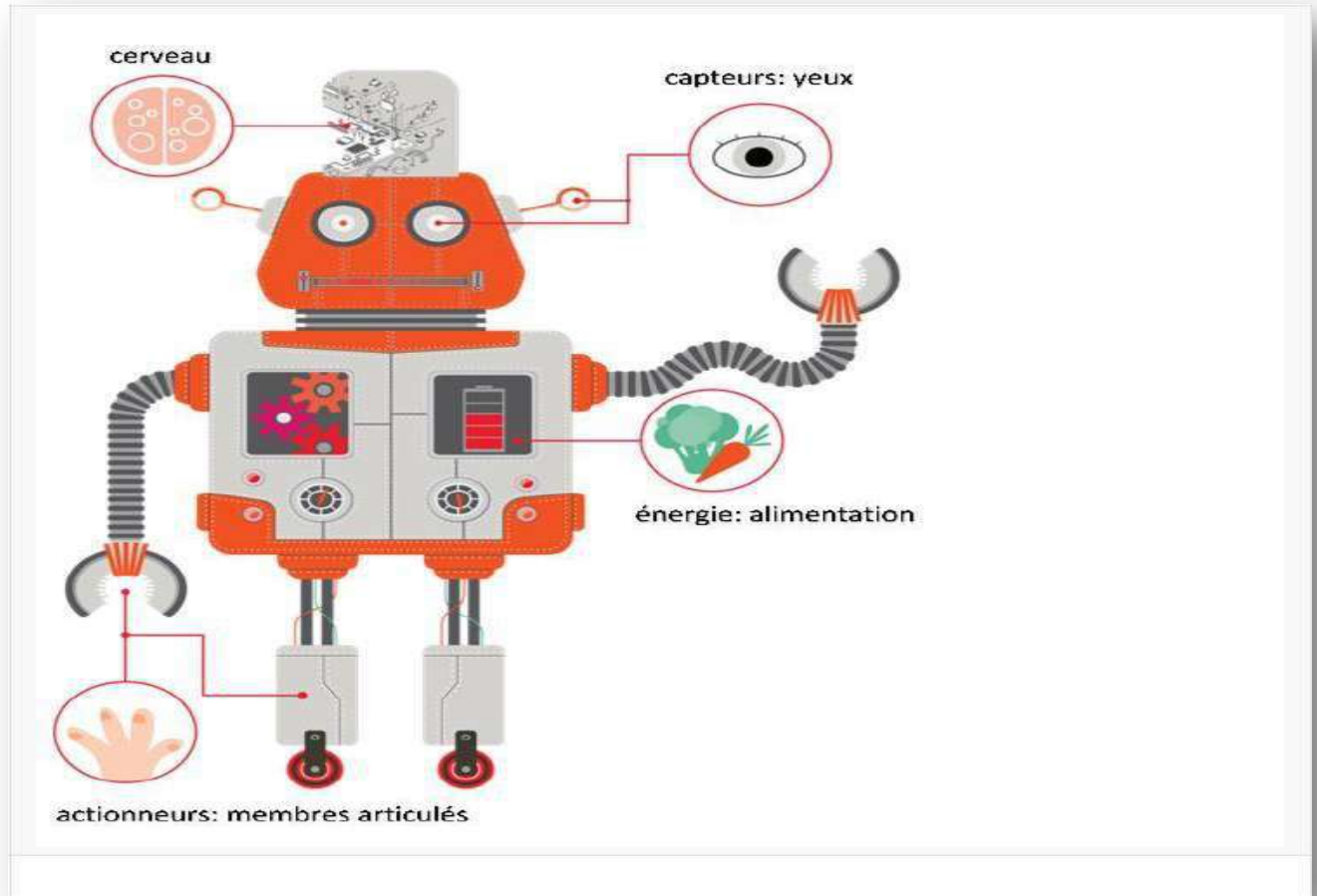


Figure I.4 : Un dessin montrant les composants de base d'un robot mobile.

Après avoir abordé les composants de base du robot et leur importance pour le mouvement du robot dans son environnement. Nous allons insister sur l'un de ces composants de base à travers lesquels le robot mesure la distance des objets qu'il intercepte afin qu'il puisse dessiner un hologramme de ces objets. Ces composants sont les capteurs du robot.

En ce qui concerne les opérations effectuées par les capteurs, depuis la collecte des données nécessaires au voisinage du robot et leur envoi à l'unité de contrôle, et parmi ces données se trouve la mesure de la distance des objets et des obstacles.

Concernant ce dernier, on voit qu'il existe deux méthodes de mesure, « active et passive ».

✓ Méthode de mesure active :

Cette distance à un objet est mesurée en lui envoyant des signaux. Cela comprend des méthodes telles que le radar, l'infrarouge, le signal radio, le son ultrasonique, le laser, etc. [4].

- ✓ La deuxième méthode est la mesure passive : Dans lequel les informations sont collectées à partir d'un objet sans lui envoyer de signal. Ces informations se présentent généralement sous la forme d'intensité lumineuse [4].

C'est désormais possible avec l'avènement de la vision par ordinateur qui utilise le visuel des photos de choses [5].

Cette méthode repose sur la présence de deux caméras du même types capables de dessiner une structure tridimensionnelle des objets.

Dans ce qui suit, nous essaierons de détailler certaines des façons dont les robots mobiles mesurent la distance des objets ou collectent des informations à leur sujet grâce à des capteurs.

I 3. Les Cameras

Les caméras sont des capteurs largement utilisés dans les robots mobiles, car ils semblent être similaires aux méthodes utilisées par les humains, sauf que ces capteurs fournissent une grande quantité d'informations environnementales à travers une seule collection. Le traitement de données volumineuses et complexes fournies par ces capteurs très difficiles est accompli en appliquant plusieurs méthodes et algorithmes de traitement d'image (Figure I.5) [6].



Figure I.5 : Certaines caméras utilisées dans les robots mobiles.

On constate qu'il existe plusieurs types de caméra utilisés, que ce soit dans les robots mobiles ou même dans d'autres domaines, dont :

I 3.1. Camera simples

La caméra standard peut être utilisée pour la navigation du robot mobile de différentes manières. Elle peut être utilisée pour détecter des points de repère visuels (points spécifiques pouvant être utilisés comme points de repère, tels que des portes ou des affiches), à partir desquels la position du robot peut être calculée. Si ces points de repère sont ponctuels ou petits, seule leur direction peut généralement être estimée. Dans le cas où les repères sont des objets connus de taille 2D ou 3D, il est généralement possible d'estimer complètement la position du robot par rapport à eux. Il peut également être utilisé pour détecter des «guides» de navigation pour les robots, tels que des routes ou des voies (Figure I.6) [6].



Figure I.6 : Une variété de caméras simples utilisées dans les robots mobiles.

I 3.2. Caméras stéréoscopiques

Une image stéréoscopique est composée de deux vues dites gauche et droite, réalisée par deux capteurs optiques prenant une même scène à partir de deux points de vue légèrement distants, mais impérativement à la même hauteur et à la même distance du premier plan. Ces deux vues peuvent alors être présentées au spectateur de manière que l'image de la caméra gauche soit vue uniquement par l'œil gauche, et l'image de la caméra droite par l'œil droit pour donner un effet de relief (Figure I.7) [6].

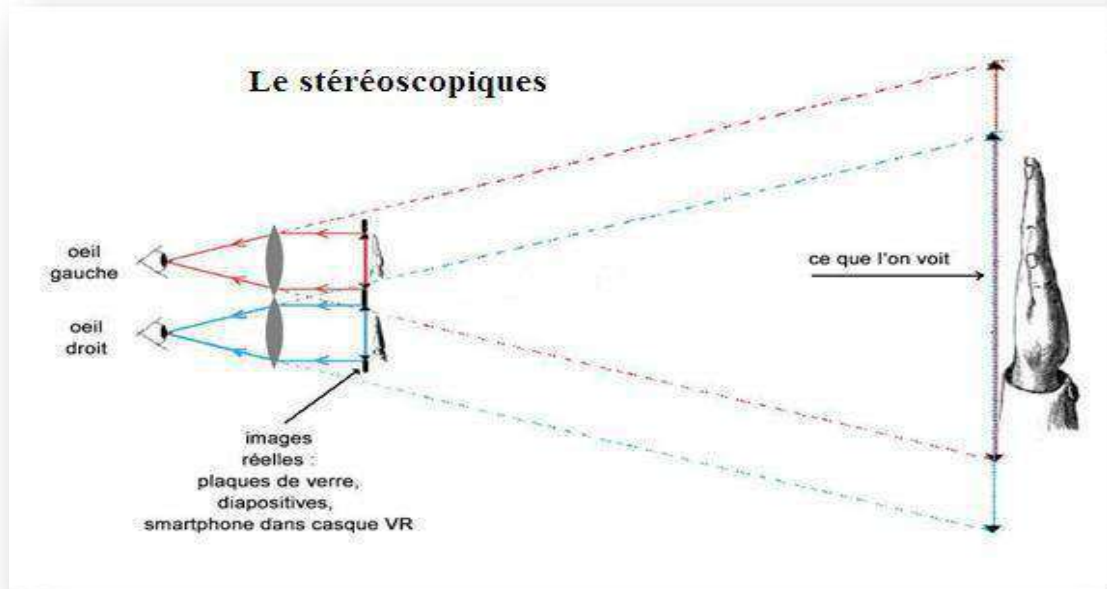


Figure I.7 : Représentation de l'apparence des caméras stéréoscopiques d'objet[S3].

Lorsque nous avons deux caméras observant la même partie de l'environnement sous deux angles différents, nous pouvons estimer la distance de l'objet pour obtenir une image en profondeur, qui peut être utilisée pour éviter ou cartographier les obstacles [4].



Figure I.8 : Exemples de caméras utilisées dans l'imagerie 3D [S3].

La stéréoscopie utilise deux images représentant la même scène à partir de deux points de vue légèrement distants. Ceci est utilisé pour calculer l'information de profondeur et reproduire une perception de relief qui se rapproche beaucoup de la vision spatiale humaine (FigureI.8) [S4].

I 4. Les télémètres

Parmi les capteurs les plus usités on trouve les télémètres : des senseurs capables de mesurer les distances. Plusieurs technologies peuvent être mises en œuvre pour mesurer les distances par télémétrie. On trouve ainsi des télémètres optiques (utilisant la lumière, comme les télémètres laser, très précis), des radars (utilisant les ondes radio), des sonars (utilisant les ondes sonores), etc.... [S5].

Un télémètre est un instrument qui permet de mesurer la distance séparant un observateur d'un point éloigné par des procédés optiques, acoustiques ou radioélectriques, il est employé, par exemple, par les photographes, géomètres et géographes ainsi que dans l'armée et l'aviation.

I 4.1. Principe de fonctionnement des télémètres

Il s'agit d'envoyer un signal (lumineux, radio ou sonore) et de mesurer en combien de temps ce signal revient à son point d'origine après avoir « rebondi » sur un obstacle. Lorsqu'on connaît la vitesse de propagation de la lumière ou des ondes sonores, on peut déterminer à quelle distance se trouve un objet grâce à la formule connue de tous (Figure I.9) [S5] :

$$\text{vitesse} = \frac{d_i}{\text{temps}} \quad \text{soit distance} = \text{vitesse} \times \text{temps} \quad (\text{I}.1)$$

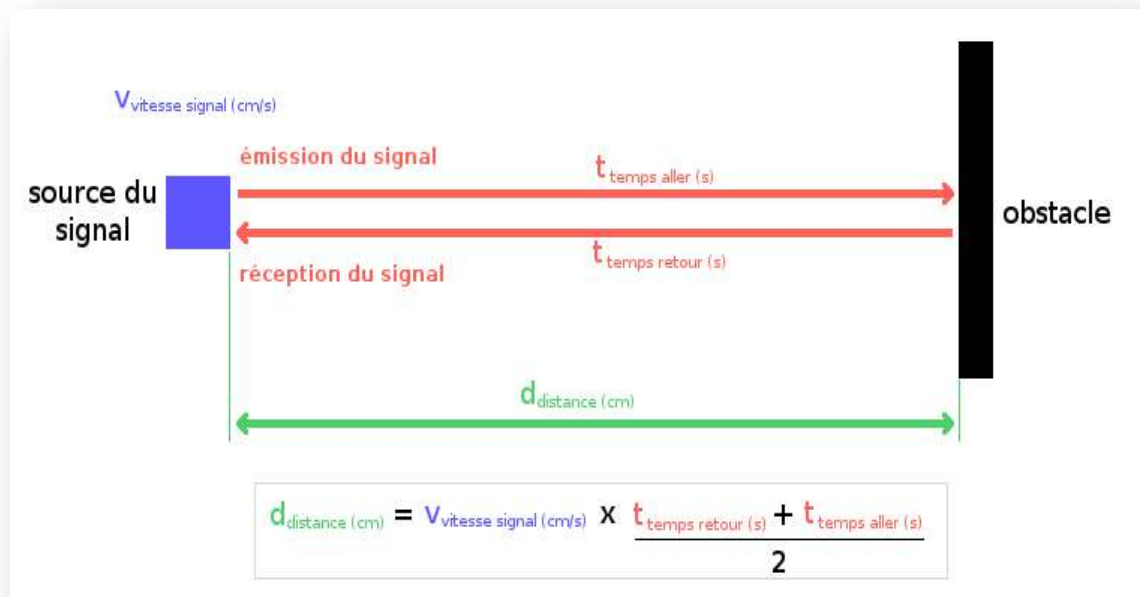


Figure I.9 : Diagramme schématisant le principe de fonctionnement des télémètres[S5].

Grâce à cette définition simplifiée, nous constatons qu'il existe différents types d'appareils de télémétrie et leurs différentes technologies.

Dans nos recherches, nous mentionnerons trois types différents : les télémètres à ultrasons, les télémètres infrarouges et les télémètres laser.

I 4.2. Télémètres à ultrason

En robotique, il est courant d'utiliser la technologie des ultrasons pour détecter les obstacles proches du robot. Selon le résultat de mesure de distance, il est possible d'agir à travers un algorithme particulier sur les moteurs pour éviter (ou atteindre) des obstacles se trouvant sur la trajectoire du robot (Figure I.10) [S5]. Plusieurs techniques sont utilisées pour la mesure de distance par ultrasons.

Un télémètre à ultrasons sert à mesurer une distance. Le principe, inspiré de la chauve-souris, est d'envoyer une salve d'ultrasons vers un objet les réfléchissant, tel qu'un mur ou une vitre, et de capter l'écho renvoyé par cet objet [8].



Figure I.10 : Télémètres à ultrason.

Pratiquement tous les matériaux qui reflètent le son peuvent être détectés et ce, quelle que soit leur couleur. Même les matériaux transparents ou les feuilles minces ne représentent aucun problème pour un capteur à ultrasons [S6].

Les capteurs à ultrasons peuvent voir à travers l'air chargé en poussières et les brouillards d'encre. Même les dépôts minces sur la membrane du capteur ne nuisent pas à son fonctionnement [S6].

a) Principe de fonctionnement des télémètres à ultrasons

Les capteurs de distance à ultrasons utilisent le principe de l'écho pour déterminer la distance à laquelle se trouve un objet :

- Un court signal sonore est envoyé (inaudible car dans le domaine des ultrasons – environ 40kHz) ;
- Le son est réfléchi par une surface et repart en direction du capteur ;
- Ce dernier le détecte, une fois revenu à son point de départ.

La durée entre l'instant de l'émission et l'instant de la réception peut être mesurée. Le signal ayant parcouru 2 fois la distance entre le capteur et la surface (un aller-retour), on peut la calculer ainsi (Figure I.11) [S7] :

$$\text{distance} = \text{vitesse} \times \text{temps} \quad (\text{I.2})$$

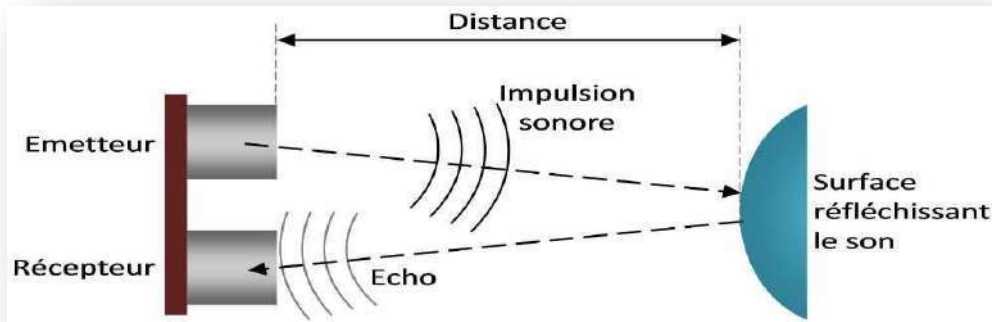


Figure I.11 : Principe de fonctionnement des télémètres à ultrasons [S7].

I 4.3. Télémètres à infrarouge

Ces télémètres possèdent l'avantage d'avoir un cône de détection beaucoup plus restreint. Ils utilisent une lumière infrarouge au lieu d'une onde sonore pour la détection et peuvent être basés sur différentes techniques qui permettent de recueillir plus ou moins d'information [9].

Il est possible de mesurer simplement le retour ou le non-retour d'une impulsion codée, ce qui permet de détecter la présence ou l'absence d'un obstacle dans une certaine portion de l'espace (Figure I.12) [10].



Figure I.12 : Télémètres à infrarouge.

b) Principe de Télémètres à infrarouge

Son principe de base repose sur l'émission d'un faisceau infrarouge modulé et la réception du faisceau réfléchi sur un récepteur déporté. Le calcul de la distance à la cible se fait alors par triangulation (Figure I.13).

Ce capteur présente l'avantage d'être très directif, peu encombrant (plus petit qu'un télémètre à ultrasons), très peu gourmand en énergie (quelques dizaines de mW en émission contre une dizaine de Watts pour l'émetteur ultrason) et d'être indépendant des conditions extérieures (pression atmosphérique, température, ...) [S8].

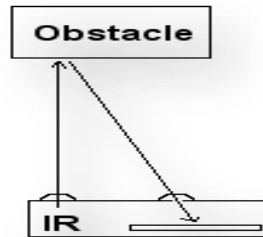


Figure I.13 : Principe de Télémètres à infrarouge [S9].

I 4.4. Télémètres laser

Un télémètre laser est un outil de précision qui sert à mesurer facilement de longues distances, jusqu'à 250 mètres. Pour fonctionner, il utilise un laser, c'est-à-dire un faisceau lumineux, qui, projeté sur une extrémité à mesurer, renvoie un rayon lumineux au télémètre. L'appareil calcule ensuite le temps que la lumière a mis pour revenir à son capteur. Ce temps, plus ou moins long selon la distance parcourue par la lumière, permet de calculer la distance entre le télémètre laser et la cible [S10].

Cet outil permet de mesurer rapidement et très précisément une distance. Le télémètre laser est capable de prendre plusieurs mesures à la suite (Figure I.14) [S10].



Figure I.14 : Télémètres laser.

c) Principe de fonctionnement des télémètres laser

Deux types de mesures peuvent être effectués en fonction de l'application réalisée.

Pour les applications à très courte portée (moins de 1 mètre), on utilise des viseurs de triangulation, qui ont une très grande précision mais dont la plage de mesure est limitée à moins de 1 mètre. Ces télémètres sont basés sur le même principe que les télémètres à triangulation infrarouge [S8].

En mesure dimensionnelle de métrologie, un télémètre laser à balayage est un appareil permettant de mesurer les distances. Le rayon laser est projeté sur une cible qui renvoie à son tour le rayon lumineux. Pour mesurer les distances, le télémètre laser à balayage va calculer l'angle de réflexion avec lequel le faisceau laser revient [11].

Le télémètre laser à balayage permet de détecter des obstacles. Le laser émet une nappe de lumière dans le proche infrarouge par balayage très rapide du faisceau. La lumière se réfléchit sur l'obstacle. La distance du rayon lumineux par rapport au télémètre est calculée à l'aide d'une méthode de triangulation [11].

Le principe de triangulation du télémètre laser à balayage mesure la distance par un calcul angulaire. En métrologie, le capteur de mesure de l'instrument émet un faisceau laser sur l'objet à mesurer. La lumière réfléchie atteint un récepteur de l'instrument selon un angle (α) qui est fonction de la distance (d) [11].

La distance (d) entre l'objet de mesure et le télémètre laser à balayage est calculée au niveau du capteur de mesure, à partir de la position du point lumineux, sur l'élément récepteur et à partir de la distance (b) séparant l'émetteur du récepteur (Figure I.15) [11].

« d » la distance mesurée de l'objet de mesure par rapport au télémètre laser à balayage se calcule de la façon suivante :

$$d = b \times \tan(\alpha) \quad (I.3)$$

« b » étant la distance séparant l'émetteur du récepteur et « α » l'angle de retour du faisceau laser.

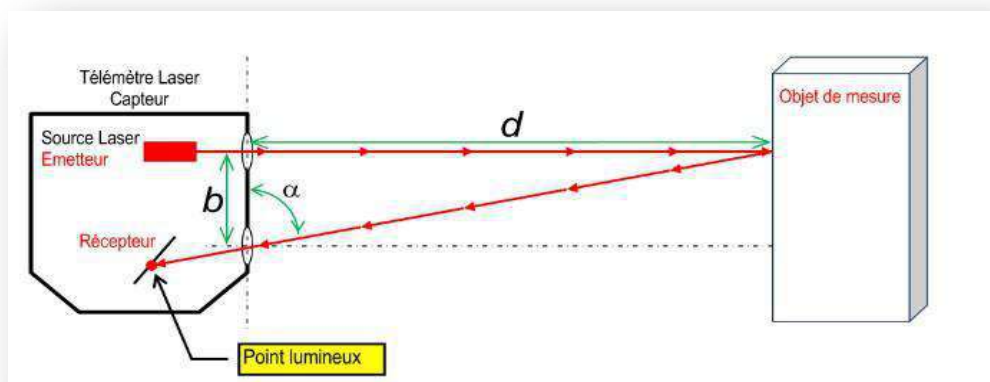


Figure I.15 : Principe de triangulation du télémètre laser [11].

Pour les capteurs longue portée, une mesure du temps de vol est utilisée, qui est alors proportionnelle à la distance aller-retour jusqu'à la cible. Une telle mesure nécessite une horloge très précise qui permet de mesurer les temps d'arrangement en nanosecondes (voire en picosecondes) ce qui permet d'obtenir une précision suffisante (Figure I.16) [S8].

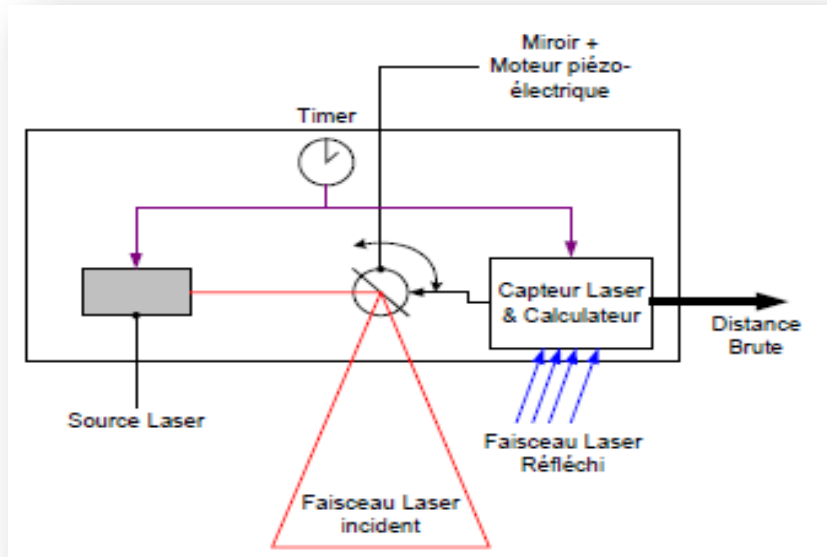


Figure I.16 : Méthode de mesure du temps de vol [S10].

d) Remarque

Comme le principe de cette méthode de mesure «active» est basé sur l'envoi des signaux à l'objet.

Cette méthode est vraiment soumise à des conditions environnementales telles que la température, le brouillard et le bruit, telles que l'interférence des vagues dans une pièce. Sinon, cette méthode ne donne que la distance à l'objet, pas nécessairement la géométrie de l'objet lui-même [12].

I 5. Conclusion

Après avoir terminé ce premier chapitre, à travers lequel nous avons donné une définition simple des robots mobiles et leurs domaines d'utilisation, y compris éducatifs, industriels, militaires, de la santé et des services, et ce que ces robots contiennent en termes de pièces électromécaniques et électroniques, nous avons brièvement essayé de jeter un œil à l'une de ces parties importantes, à savoir les capteurs à travers lesquels il est construit et avoir la capacité d'observer son environnement externe.

Nous avons étudié deux types de ces capteurs utilisés dans les robots mobiles. Les capteurs active, qui sont basés sur le principe d'envoi de signaux à l'objet dont la distance doit être mesurée, plusieurs méthodes et dispositifs de mesure sont disponibles, y compris des

télémètres à ultrasons et des dispositifs d'identification la portée est des télémètres infrarouges et laser, mais ce type de capteur reste soumis à des conditions environnementales telles que la température, le brouillard et le bruit, ce qui en fait des dispositifs de mesure imprécis, indépendamment de cela, il ne donne que la distance à l'objet, contrairement aux capteurs passifs, qui dépendent du principe de la collecte d'informations à partir de l'objet sans lui envoyer de signal.

Cette dernière méthode nous permet de dessiner une image tridimensionnelle des inventions "la stéréo vision", que nous tenterons d'étudier dans le deuxième chapitre.

Chapitre

II

La stéréo vision

II 1. Introduction

Au cours de la dernière décennie, le nombre de robots mobiles sur le marché a rapidement augmenté, traitant des tâches de plus en plus complexes, telles que la navigation autonome. Ces tâches nécessitent une connaissance approfondie de l'environnement.

De nos jours, il existe plusieurs méthodes pour obtenir des informations sur l'environnement. Du point de vue du capteur, il est possible de les diviser en deux groupes. Premièrement, il existe de nombreux algorithmes basés sur le laser, qui fournissent des mesures de haute précision bien qu'ils ne fournissent pas, dans la plupart des cas, suffisamment d'informations pour une classification correcte des éléments de l'environnement. De plus, les capteurs basés sur la vision par ordinateur sont des systèmes riches en informations, en particulier des systèmes de vision stéréoscopique, au détriment d'une moindre précision. Les algorithmes de vision stéréo sont l'une des méthodes clés pour détecter les obstacles et l'espace libre devant le véhicule, concrètement, la plupart des auteurs représentent ces informations comme la carte des obstacles et la carte gratuite [14].

La possibilité d'obtenir des informations tridimensionnelles dans l'ensemble des directions présente beaucoup d'intérêt en robotique mobile, qu'il s'agisse de construire un modèle de l'environnement, de localiser le robot dans cet environnement ou bien d'asservir ses déplacements. Dans un tel contexte, il est indispensable d'obtenir les données tridimensionnelles en un temps minimum. Les algorithmes de stéréovision classique sont très rapides, notamment grâce au fait qu'il est possible de rectifier les images, ce qui permet d'optimiser considérablement la phase de mise en correspondance des pixels [15].

Le besoin humain de robots mobiles reste un grand besoin, étant donné qu'ils portent des caractéristiques humaines et peuvent compenser les personnes pour certaines tâches et tâches, à la fois difficiles et faciles, car elles dépendent de plusieurs méthodes pour traduire l'environnement extérieur environnant. et parmi ces méthodes se trouve la stéréovision, qui est la méthode la plus précise et la plus efficace qui permet au robot de connaître la distance des objets et des obstacles et même de connaître leurs profondeurs, formant ainsi une image tridimensionnelle de ceux-ci.

Dans ce chapitre, nous aborderons le principe de la stéréovision et le détaillerons.

II 2. 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 [16].

On peut aussi dire « 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 » [17].

La stéréovision est une technique de vision fondée sur l'utilisation de plusieurs caméras, en combinant leur différents points de vue, cela permet d'accéder à des informations de profondeur difficilement accessibles lorsqu'une unique vue est utilisée. L'exploitation de cette information permet de bâtir des techniques de détection d'obstacles génériques et robustes. Selon de nombreux auteurs, ces techniques peuvent être rangées en deux catégories : les méthodes par appariements et les méthodes par rectification homographique [18].

II 2.1. Définition

Le principe de la stéréovision (stéréoscopie) consiste à reconstruire tridimensionnellement une cible ou toute une scène en utilisant des images prises simultanément (prises de points de vue différents) ou séquentiellement. Plusieurs chercheurs ont étudiés des systèmes stéréoscopiques formés de deux ou plusieurs caméras. Généralement, on peut distinguer deux approches,

la stéréovision dynamique et la stéréovision statique. La stéréovision dynamique est une méthode de mesure tridimensionnelle d'une cible qui se déplace entre les prises de vue. Dans ce cas une seule caméra pourrait être suffisante pour effectuer des mesures tridimensionnelles. Plusieurs images prises séquentiellement sont considérées comme des images acquises depuis différents points de vue.

La stéréovision statique impose que les objets à mesurer soient fixes par rapport au référentiel objet. Les techniques de reconstruction tridimensionnelle de cette approche utilisent des images acquises au moyen d'une seule caméra qui se déplace dans la scène ou bien deux ou plusieurs caméras afin de prendre des images simultanément.

Dans toutes les techniques utilisées, les cibles devraient être visibles dans au moins deux images. [19].

II 2.2. Principes de la stéréovision

Les systèmes de stéréovision permettent de calculer par triangulation, la profondeur des objets dans l'espace 3D, grâce à leurs projections dans les deux caméras. La différence des positions dans les deux images, de la projection d'un même point de l'espace 3D, s'appelle la disparité ; la recherche des points correspondants entre ces deux images, permet donc de produire une image de disparité. En supposant que les caméras ont des axes optiques parallèles, comme dans le capteur Bumble Bee (Figure II.1), alors la disparité est inversement proportionnelle à la profondeur ; ainsi la disparité est nulle pour un point à l'infini, typiquement un point sur la ligne d'horizon.

La figure II.2 illustre des montages typiques de caméras en configuration stéréo, connu aussi comme banc stéréo. Si le banc stéréo est calibré, les coordonnées du point 3D correspondant à ce pixel peuvent être calculées. On sait que la précision du capteur stéréo est proportionnelle à la profondeur au carré ; de ce fait, la portée utile d'un tel capteur est limitée,

typiquement quelques mètres sur des focales courtes (5m. par exemple pour la détection d'obstacles proches en site urbain), quelques dizaines de m. sur des focales longues (40 ou 50m. max pour la détection d'obstacles lointains sur route) [20].



(a)

(b)

Figure II .1: (a) Configuration stéréo canonique sur un système stéréo du prototype PICASSO (Plateforme d'Intégration de Capteurs multi Sensoriels), avec deux caméras dans le visible entourant une caméra thermique, (b) Système de stéréovision Bumble Bee2 fabriqué par Point Grey Researchc.

Le but de la stéréovision est de calculer la position spatiale des points sur la base de leurs coordonnées d'image dans deux vues différentes, dans le but d'effectuer des mesures ou de reconstruire la structure de scène en trois dimensions. Les caméras étant modélisées par une projection centrale, tous les points positionnés sur un rayon lumineux sont projetés sur le même pixel p de l'image de gauche (Figure II .2). L'image de ce rayon dans l'image de droite est appelée la ligne épipolaire, où p' , la correspondance pixel de p , doit être identifié afin de calculer la position de P dans l'espace au moyen de la triangulation, en connaissant la position relative et l'orientation des caméras. Les clés de la stéréovision ainsi tournent autour de 4 points: configuration du capteur géométrique, estimation de la géométrie du système ou étalonnage, appariement et reconstruction [21].

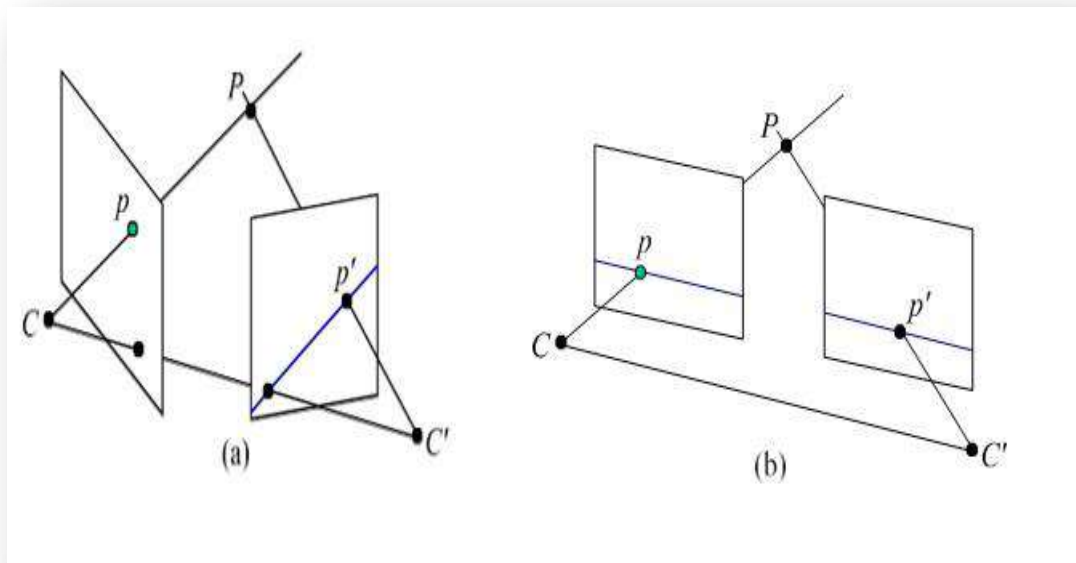


Figure II .2: (a) Géométrie épipolaire quelconque. (b) Géométrie épipolaire rectifiée.

II 2.3. Les différents types de la stéréovision

e) La stéréovision passive

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 [22].

Les systèmes passifs n'utilisent que des caméras pour les acquisitions. Ils peuvent utiliser une ou plusieurs caméras, mais doivent prendre au moins deux images de l'objet de différents angles de vue pour réaliser une reconstruction 3D. Les informations 3D sont obtenues par triangulation (Figure II .3) en faisant correspondre les pixels entre chaque couple d'images et en utilisant la différence entre les coordonnées des correspondants. Ces méthodes utilisent les points caractéristiques de la surface des objets, ce qui rend difficile l'analyse d'objets faiblement texturés [S11].

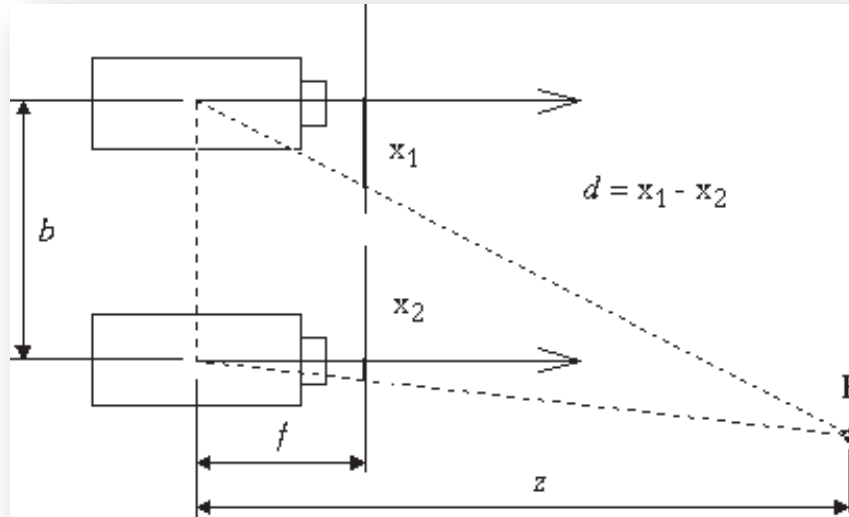


Figure II .3: Principe de stéréovision passive.

a) La stéréovision active

La stéréovision 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 II .4), la source de lumière étant un laser projetant un faisceau. [17].

Les systèmes de vision stéréoscopique actifs peuvent être vus comme des systèmes de stéréovision classiques où une des deux caméras est remplacée par une source d'éclairage projetant un motif structuré. La position des points caractéristiques du motif dans l'image permet de calculer les profondeurs par triangulation. L'information contenue dans la structure du motif permet de lever une partie de l'ambiguïté d'appariement.

Le principe de restitution de la dimension manquante reste le même qu'en vision passive, sauf que nous avons une connaissance à priori du motif projeté et donc des primitives à rechercher dans l'image. Cette connaissance à priori permet de réduire grandement la complexité du problème réduisant ainsi les temps de calcul nécessaires pour effectuer les traitements, et permettant de répondre à des contraintes temporelles fortes [23].

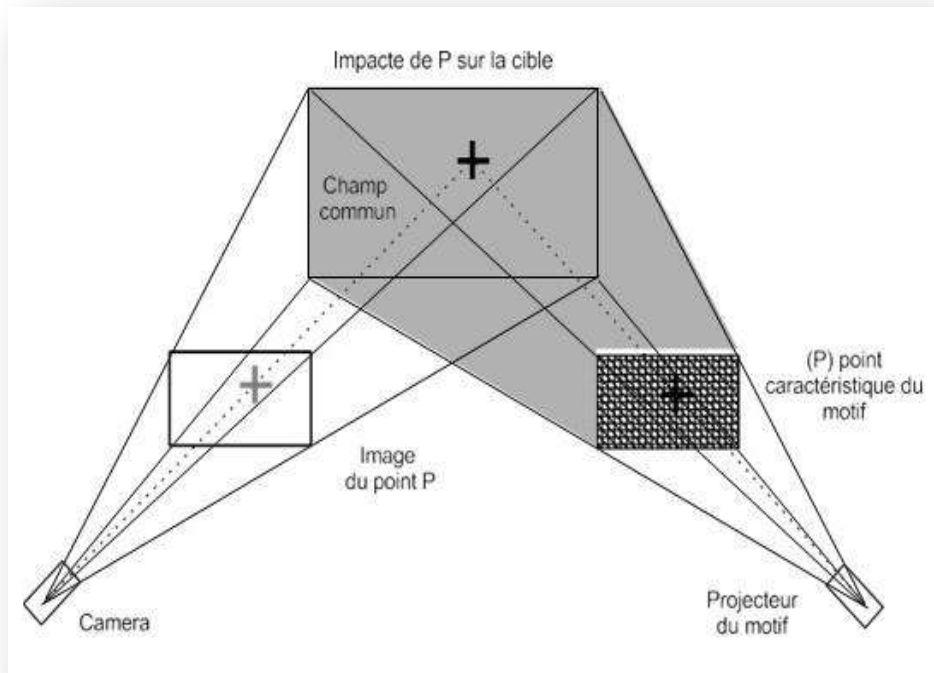


Figure II .4 : Principe de la stéréovision active.

II 3. Vision binoculaire: la stéréoscopie

La stéréoscopie est une méthode de vision passive inspirée de la vision humaine permettant d'obtenir l'information de relief d'une scène à partir de deux projections bidimensionnelles de la même scène (Figure II .5). La position tridimensionnelle des points objet est déduite à partir de deux images d'une même scène prises de deux points de vue légèrement différents. Les deux images stéréoscopiques doivent être prises en même temps dans le cas où la scène observée est dynamique. Le rendu 3D d'une scène est obtenu en se référant aux trois étapes fondamentales suivantes : le calibrage, la mise en correspondance ou l'appariement et la reconstruction 3D par triangulation. Il est crucial de bien choisir les paramètres du modèle géométrique (entraxe, focales, etc.) du capteur stéréoscopique parce qu'on se heurte au dilemme suivant :

- Plus l'entraxe, défini par la distance entre les deux centres optiques des deux caméras, est faible et les axes optiques parallèles, plus le champ visuel couvert communément par les deux caméras est grand, et plus les images sont proches au sens de l'appariement des indices.
- Plus les caméras sont écartées, meilleure est la reconstruction tridimensionnelle obtenue [24].

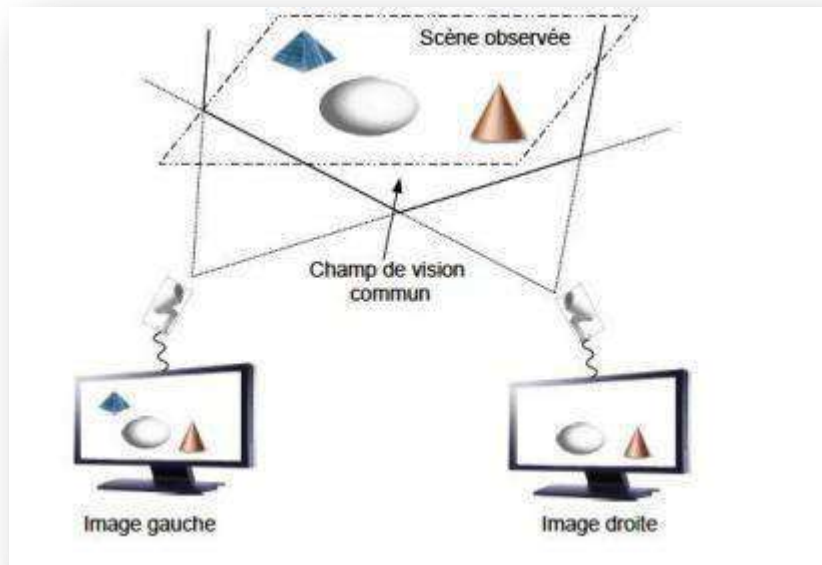


Figure II .5 : Principe d'un système de vision stéréoscopique.

II 3.1. Vision binoculaire

Ce que nous voyons est le résultat des signaux qu'envoient les yeux au cerveau. Habituellement, le cerveau reçoit simultanément les signaux des deux (bi) yeux (oculaire), les renseignements contenus dans le signal envoyé par chaque œil diffèrent légèrement et dans le cas d'une vision binoculaire saine, le cerveau est en mesure d'utiliser ces différences pour évaluer les distances et coordonner les mouvements oculaires [S12].

f) Définition

Les yeux de l'homme occupent une position frontale. La majorité de l'espace perçu est donc vu par les deux yeux. Sur le schéma suivant (Figure II .6), à droite, est tracé le champ visuel monoculaire d'un œil droit; à gauche le champ visuel binoculaire. On constate que la majorité de l'espace situé devant nous est perçue par les deux yeux (zone grisée), de chaque côté, une faible portion de l'espace n'est perçue que par l'un des yeux (à droite par l'œil droit et à gauche par l'œil gauche).

Les images rétiniennes droite et gauche de l'espace situé devant nous vont être légèrement différentes du fait de l'écart entre les deux yeux. Une expérience simple nous le prouve très vite, si l'on place son pouce à une quarantaine de centimètres devant ses yeux et que l'on regarde avec l'œil droit puis avec l'œil gauche, on constate que le pouce n'occulte pas la même portion de l'espace. Le cortex visuel reçoit des informations élaborées par la chaîne de transmission visuelle à partir de l'image rétinienne.

Les informations provenant des images rétiniennes droite et gauche vont donc être légèrement différentes et pourtant nous voyons le monde devant nous simple. Et alors que les images rétiniennes ne sont que des images en 2D du monde, nous percevons une information en 3D. Ce mécanisme cortical qui permet l'élaboration d'une vision simple et en relief du

monde environnant constitue ce que l'on nomme la vision binoculaire. On la considère comme normale lorsqu'elle ne pose pas de problème au sujet et lorsque les performances obtenues correspondent à la moyenne statistique [S13].

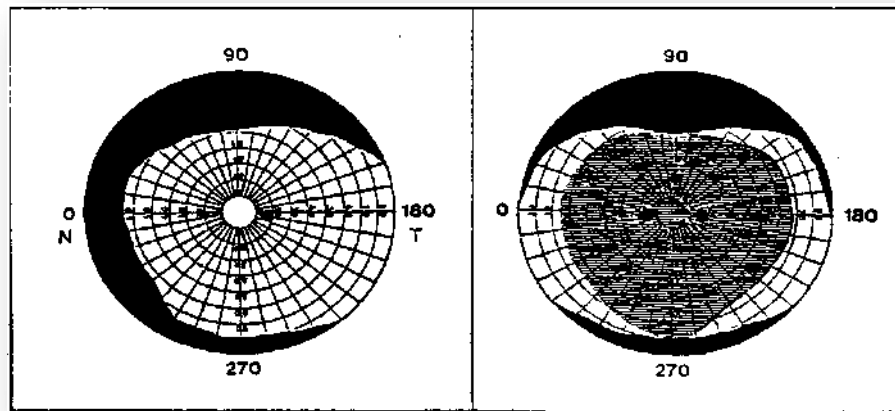


Figure II.6: Le champ visuel monoculaire de l'œil droit est à droite et l'œil gauche est à gauche.

La vision binoculaire est un processus cérébral complexe et nous pouvons la diviser en trois parties simples: vision simultanée, fusion et vision stéréoscopie [25].

II 3.2. La stéréoscopie

On désigne par stéréovision, vision stéréoscopique ou stéréoscopie, l'ensemble de tous les procédés qui permettent de déterminer la structure tridimensionnelle (3D) d'une scène à partir de plusieurs images vidéo de celle-ci prises sous des angles de vues différents. Le mot stéréoscopie dérive des mots grecs stéréos, solide et skopein, voir, qui signifie voir en relief [S14].

g) Définition

Par définition, une photographie constitue une projection sur une surface d'une réalité tridimensionnelle. La stéréoscopie peut être définie comme l'art de reproduire une perception du relief à partir d'images, donc de matrices 2D. L'exemple d'utilisation le plus connu est celui de la vision stéréoscopique répandue dans le règne animal, permettant de mieux percevoir les distances à partir de 2 (ou plus) yeux interprétant la même scène sous des angles différents.

L'effet de relief obtenu est ainsi produit par la parallaxe, c'est-à-dire l'effet du changement de position sur l'image perçue. Aujourd'hui, l'acquisition et le traitement d'images numériques sont devenus plus aisés et moins coûteux, la stéréoscopie s'est imposée comme un moyen intéressant pour la production de données 3D à coût raisonnable. Ses applications sont variées et couvrent des domaines tels que l'architecture, le médical ou le

divertissement, dont les enjeux économiques furent cruciaux au développement des connaissances théoriques et applicatives qui y sont liées. Si les principes généraux de la stéréoscopie et de la photogrammétrie ne sont plus considérés comme une question de recherche, son application dans certains cas particuliers pose encore des questions fondamentales qu'il convient d'examiner.

C'est le cas de la stéréoscopie par satellite. Utilisée depuis les années 80, elle permet de modéliser la surface terrestre par le biais d'images acquises en orbite par des satellites d'observation de la Terre. Les 30 dernières années ont ainsi vu l'émergence de deux types de produits issus de la stéréoscopie par satellites, les MNT (Modèle Numérique de Terrain) offrant une estimation du relief sans le sursol et les MNS (Modèle Numérique de Surface) offrant une estimation de tout le relief.

Techniquement, il est possible de réaliser un traitement stéréoscopique avec plus de 2 images acquises avec un angle de visée différent. On parle alors de tri-stéréoscopie lorsque 3 images sont utilisées. Les couples d'images possibles sont alors traités l'un après l'autre puis les résultats sont fusionnés [26].

Par contre on peut dire que la stéréoscopie est l'ensemble des techniques mises en œuvre pour reproduire une perception du relief à partir de deux images planes.

Qu'est-ce que c'est que la vision stéréoscopique ?

Si vous avez une vue à peu près correcte des deux yeux, savez-vous que vous pratiquez sans le savoir la vision stéréoscopique ? Pour vous faire sentir ce qu'est la vision stéréoscopique, nous vous propose une expérience relativement simple :

Regardez des objets à 2 ou 3 mètres de vous pendant 4 ou 5 secondes. En continuant de regarder, placez une main devant l'un de vos yeux pour lui boucher la vue. Restez ainsi 4 ou 5 secondes. En alternant ainsi la vision "avec deux yeux", et la vision "avec un seul œil", vous remarquerez sans doute que lorsque l'on utilise les deux yeux, on a beaucoup plus la sensation du volume et du relief, l'image paraît plus plate lorsqu'elle est vue d'un seul œil. *La sensation de relief que donne la vision avec les deux yeux s'appelle la stéréoscopie.*

En effet, en regardant deux images différentes et en mettant notre main une fois sur l'œil gauche une fois sur le droit, on voit successivement ce que voit l'œil droit, et ce que voit l'œil gauche. Si vous comparez les deux images celle "vue de l'œil droit" et celle "vue de l'œil gauche", vous verrez des petites différences : la position horizontale d'un objet proche par rapport à un objet loin n'est pas la même entre les deux images.

Voici ci-dessous deux photos : une prise à l'emplacement de l'œil gauche, et une prise à l'emplacement de l'œil droit (Figure II .7) [27].

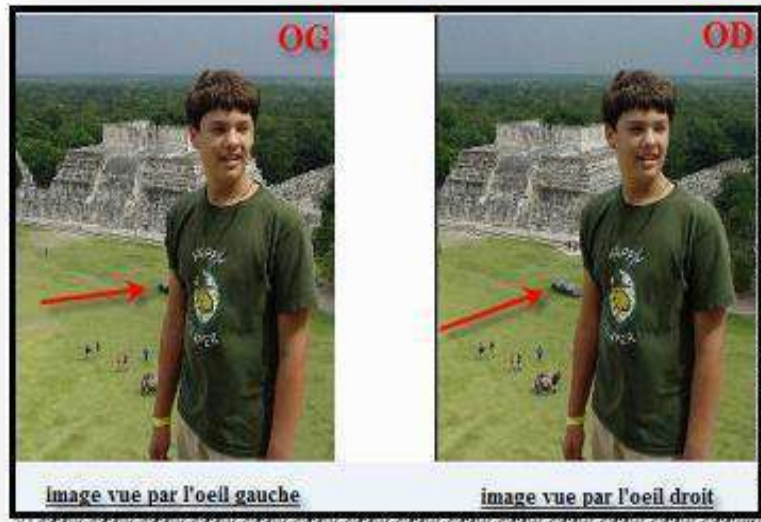


Figure II .7 : Deux photos prises, une dans l'œil gauche et l'autre dans l'œil droit.

h) Historique de la stéréoscopie

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 II .8) avant de voir apparaître des caméras stéréo et d'autres procédés de visualisation en relief plus modernes [28].



Figure II .8 : Deux caméras utilisées pour la prise de vue en stéréoscopie [musée dessciences 1860]

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 2.18). Après sa commercialisation en 2009, une nouvelle version améliorée a vu le jour en 2010 sous le nom Fujifilm FinePix Real 3D W3 [28].



Figure II .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 II .9), 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 [28], voir <http://www.ariase.com/fr/reportages/collection-ete2008.html>.



Figure II .10 : Caméra stéréoscopique, Roland Garros 2008.

II 4.Géométrie stéréoscopique

II 4.1.La géométrie épipolaire [29]

Lorsque deux caméras voient la scène 3D de deux points de vue différents, on définit une relation géométrique entre les points 3D de la scène et leurs projections sur les deux plans image 2D des caméras.

Cette relation géométrique connue sous le nom de la géométrie épipolaire, qui décrit la relation entre les projections droite et gauche d'un point P de l'espace. La projection du point P sur les deux plans images donne naissance à deux points et, dites points homologues. Combinés avec P forment un plan appelé plan épipolaire, qui passe également par les centres de projection et des deux caméras (Figure II .10).

Dans un système qui utilise un modèle de caméra sténopé, et selon le principe d'acquisition illustré sur la (Figure II .10), nous définissons plusieurs termes :

- **La ligne de base** est la ligne qui relie les centres optiques O et O' .
- **Le plan épipolaire** d'un point P de l'espace est un plan qui est déterminé par le point P et la ligne de base OO' .
- **L'épipole** est le point d'intersection de la ligne de base OO' avec le plan de l'image. L'épipole e (resp. e') correspond à la projection perspective dans l'image de gauche (resp. droite) du centre optique O' (resp. O).

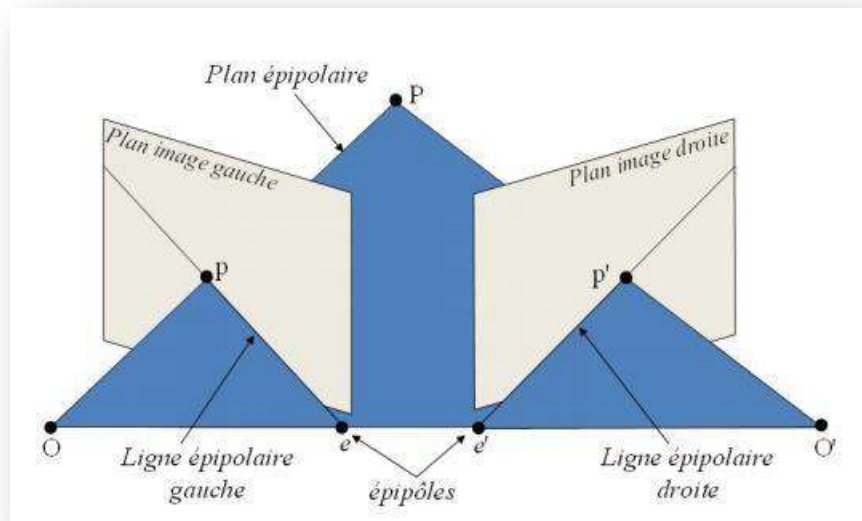


Figure II .11 : La géométrie épipolaire.

La contrainte épipolaire est l'une des plus importantes informations qui peut être exploitée dans la phase de la mise en correspondance. Elle permet de diminuer considérablement l'espace de recherche et par conséquent réduit le temps de mise en correspondance. Cette contrainte est bien appliquée pendant le processus de la rectification des images. Cependant, la rectification des images nécessite généralement que la procédure de calibrage soit effectuée à l'avance.

II 4.2. Le calibrage

La majorité des techniques existantes sont précédées d'une phase de calibrage des caméras. Ce calibrage détermine la relation qui lie la position d'un point dans une image à sa position réelle. Il est basé sur l'enregistrement d'images d'un objet de dimensions connues, généralement une mire, un damier. On distingue le calibrage fort où les deux caméras sont calibrées indépendamment l'une de l'autre du calibrage, faible où les deux caméras sont fixées sur un même support, observent la même scène et sont calibrées ensemble [24].

Afin d'obtenir une bonne reconstruction 3D, nous devons avoir un bon calibrage de notre banc stéréo.

Le terme calibrage est un terme français, construit à partir du terme anglais calibration comme V. Garric, le mot calibrage désigne l'Identification des paramètres constitutifs d'un modèle.

Pour la vision, nous allons plutôt utiliser le terme anglais calibration au long de ce manuscrit pour nous référer à la dite procédure. On peut définir la calibration d'un banc stéréo comme la procédure d'estimation des paramètres qui apparaissent dans le modèle du dispositif. Ces paramètres sont liés aux caractéristiques des caméras et à leurs positions dans l'environnement : ils permettront la reconstruction de points 3D.

Il faut d'abord établir le modèle de la caméra, puis d'un capteur stéréo. Un modèle de caméra est donné par tous les paramètres dont dépend la matrice de projection. Cette matrice permet d'associer à un point 3D (x ; y ; z) connu dans le repère du monde, les coordonnées du pixel (u ; v) qui lui correspond sur l'image acquise par la caméra (Figure II.11). Ce modèle de caméra dépendra donc de :

- la distance focale d des lentilles de la caméra,
- la taille des pixels,
- la position du point principal dans l'image, correspondant à l'intersection entre l'axe optique et le plan image,
- et la position et l'orientation de la caméra.

On distingue les paramètres intrinsèques qui ne dépendent que de la caméra (distance focale, taille des pixels, position du point principal), et les paramètres extrinsèques (position et orientation de la caméra dans l'environnement) [30].

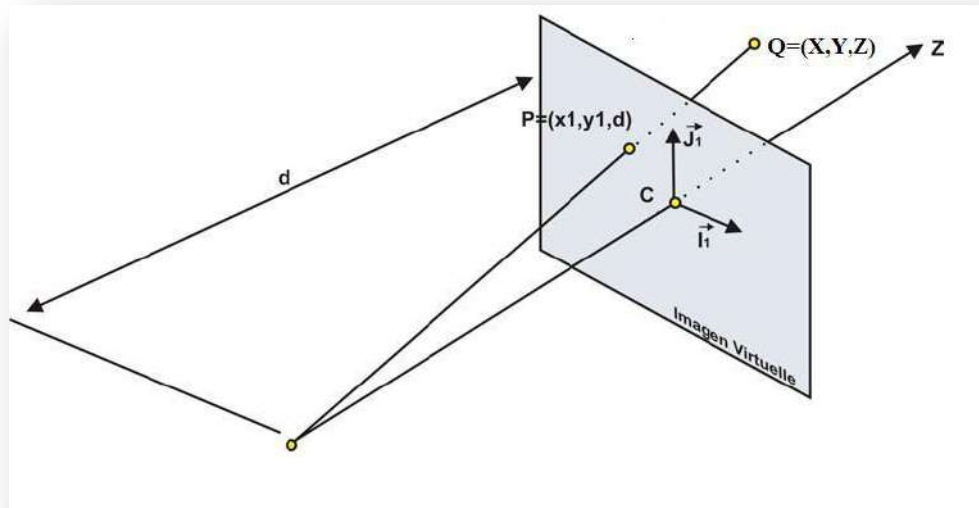


Figure II .12 : Algorithme de calibration.

II 5. Appariement stéréoscopique

Pour effectuer cet appariement, beaucoup de techniques ont été proposées, elles peuvent être classées en deux catégories principales : globales et locales.

Les méthodes globales résolvent un problème d'optimisation sur la carte de disparité, elles donnent des résultats précis, mais le temps de traitement requis est très élevé, parce qu'elles utilisent, généralement, des méthodes complexes de minimisation d'énergie, comme la programmation dynamique et la théorie des graphes, qui nécessitent un temps de calcul très important.

Les méthodes locales sont basées sur la corrélation de l'intensité, et elles peuvent être utilisées dans des applications temps réel en raison de leurs faibles coûts algorithmique et de la simplicité des algorithmes utilisés.

Cependant, ces méthodes sont susceptibles de donner de faux appariements pour les surfaces homogènes de l'objet. Bien que plusieurs algorithmes d'appariement ont été proposés au cours de ces dernières années, ceux basés sur la corrélation sont toujours très utilisés en raison de leur grand avantage du faible coût en mémoire et en temps de calcul [31].

II 6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents aspects de la vision 3D à partir d'un capteur passif, qui dépend principalement du principe de donner aux objets des dessins en trois dimensions.

Dans celui-ci, nous avons abordé le principe de La stéréovision, qui repose principalement sur une technique visuelle qui repose sur l'utilisation de deux ou plusieurs

Caméras en combinant leurs différentes vues, et c'est ce qu'on appelle la méthode de triangulation de la profondeur des objets dans un espace tridimensionnel.

Nous avons classé deux types : La stéréovision passive, qui repose sur le principe de l'obtention de deux vues d'un même objet, et La stéréovision active, qui repose sur le principe du remplacement d'une des deux caméras par un émetteur permettant à la lumière d'être projeté sur l'objet, puis le deuxième faisceau capture la scène éclairée qui permet de trouver une structure tridimensionnelle.

Puis nous avons traité Vision binoculaire : la stéréoscopie, qui est une méthode de vision négative inspirée de la vision humaine pour obtenir des informations pour une scène à partir de deux projections bidimensionnelles de la même scène, et la position tridimensionnelle de l'objet est déduite de deux images de la même scène prises à partir de deux points de vue légèrement différents en même temps.

Nous avons essayé de détailler dans ce titre, nous avons donc traité de la vision binoculaire, à travers laquelle une personne peut se coordonner entre le regard des yeux gauche et droit et coordonner leurs mouvements si la vision binoculaire est saine.

Nous avons également abordé la Géométrie stéréoscopique, qui est La géométrie épipolaire, qui dépend de la détermination de la relation géométrique entre les points tridimensionnels de la scène et de sa projection au niveau de l'image bidimensionnelle des caméras.

Nous n'oublions pas que la correction d'image nécessite un étalonnage préalable. Cet étalonnage détermine la relation entre la position d'un point dans une image et sa position réelle. Il dépend de l'enregistrement d'images d'un objet de dimensions connues, généralement une mire, un échiquier.

Puis nous avons abordé l'appariement stéréoscopique et pour réaliser cet appariement, plusieurs techniques ont été proposées, ces dernières peuvent être classées en deux grandes catégories : mondiale et locale. Les méthodes globales résolvent le problème d'optimisation sur la carte de variance, et les méthodes locales dépendent de la corrélation de densité, et elles peuvent être utilisées dans des applications en temps réel en raison des faibles coûts des algorithmes et de la simplicité des algorithmes utilisés.

Nous présenterons dans chapitre suivant les travaux pratiques centrés sur le principe de la stéréovision.

Chapitre

III

**Résultats et
discussion**

III 1. Introduction

L'objectif principal de la stéréo vision est qu'elle peut être utilisée pour localiser un objet dans un espace 3D. Il peut également fournir des informations précieuses sur cet objet (telles que la couleur, la texture et les motifs qui peuvent être utilisés par des machines intelligentes pour la classification).

a) Explication du fonctionnement des capteurs

Un système visuel, ou capteur de lumière, récupère une grande quantité d'informations que les autres capteurs ne peuvent pas. La stéréo vision est également un capteur passif, c'est-à-dire qu'il utilise le rayonnement disponible de son environnement. Il est non intrusif car il n'a pas besoin de transmettre quoi que ce soit pour ses lectures.

Un capteur actif envoie une forme d'énergie dans l'atmosphère, qu'il recueille ensuite pour ses lectures. Par exemple, un laser envoie de la lumière qu'il recueille ensuite ; et le radare envoie sa propre forme d'énergie électromagnétique. Un capteur passif est idéal lorsque l'on veut ne pas influencer l'environnement ou éviter la détection.

b) Avantages des capteurs de caméra stéréo

Motivation de la recherche Les capteurs de caméra de stéréo vision 3D offrent des avantages supérieurs aux capteurs de caméra conventionnels monoscopiques standard. Le principal avantage du capteur de caméra de stéréo vision 3D est qu'il peut fournir une vue spatiale optique supplémentaire en raison du format d'imagerie stéréo de la capture côte à côte qui est basé sur le facteur de disparité, les informations de profondeur 3D et l'évitement de l'occlusion. Les avantages suivants sont :

- Les capteurs de vision 3D simulent les yeux humains pour fournir à la fois des informations sur la couleur et la profondeur de chaque pixel dans le champ de vision. Les informations de profondeur permettent aux chercheurs de développer des algorithmes efficaces pour extraire rapidement des pixels à une distance définie et identifier les objets d'intérêt à partir d'un arrière-plan visuel bruyant.
- L'accélérateur 3D Vision fournit une solution au niveau de la carte pour la disparité et la profondeur stéréo, soulageant le processeur de l'ordinateur de cette tâche exigeante.
- La stéréo vision 3D peut augmenter considérablement le taux de détection, de classification et suivi des performances.
- La stéréo vision 3D coûte des milliers de dollars américains lors de l'utilisation d'un laser ou de scanners, tandis que les capteurs-caméras de vision stéréo peu coûteuse peuvent offrir des résolutions de stéréo vision à faible coût [31].

Ce chapitre décrit les différentes étapes à suivre pour mesurer la distance des objets par rapport au camera. Les étapes à suivre sont :

- Nous calibrons la caméra stéréo vision pour obtenir les paramètres intrinsèques et extrinsèques.

- Rectification d'image :(RectifyStereoImages).
- Calculer la disparité :(Disparity mp disparity)
- Nuage de points 3D (pcshow).
- Mesurer la distance entre l'objet et la caméra.

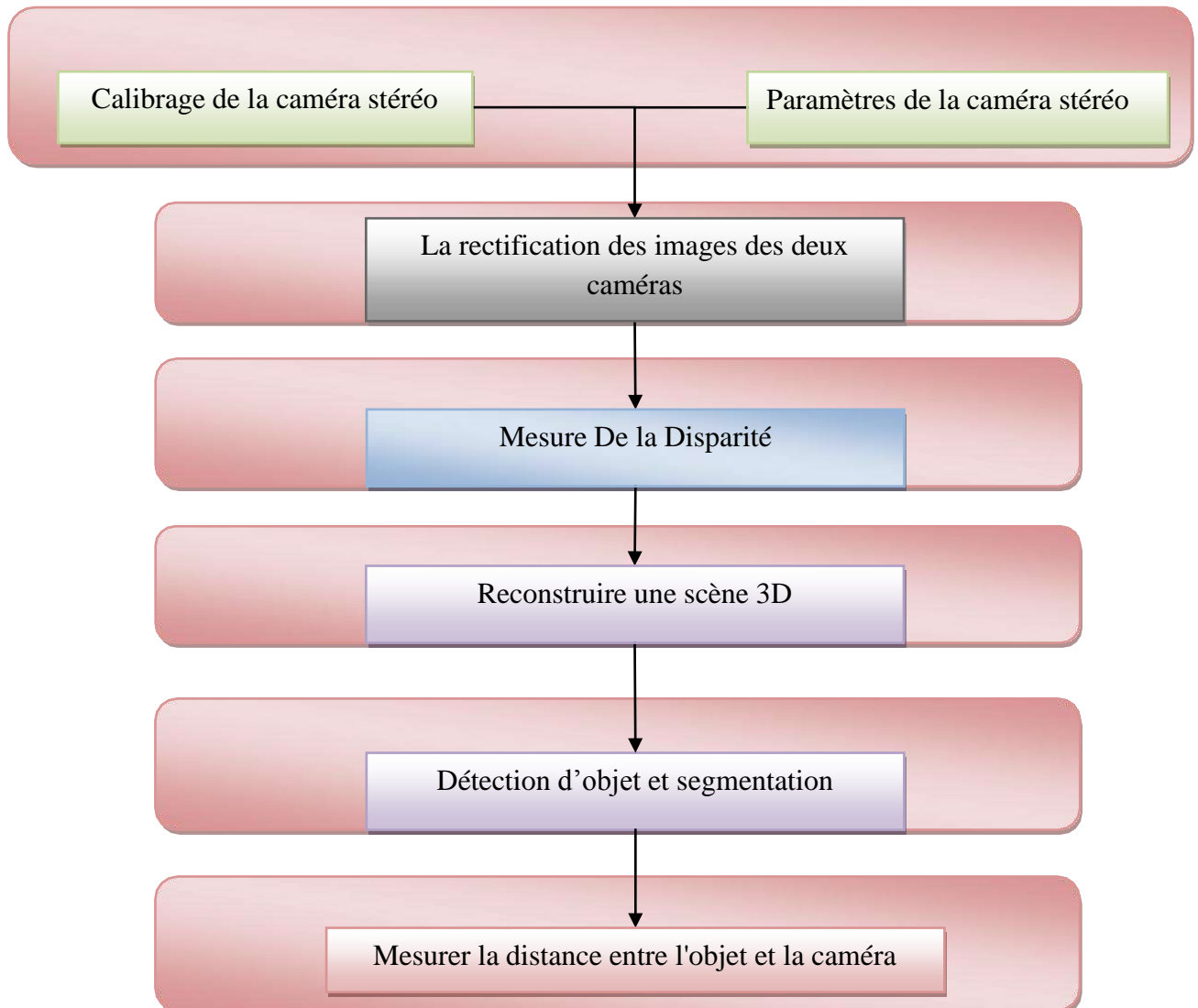


Figure III.1 : Organigramme Fonctionnel

III.1.1. Flux de la stéréo vision

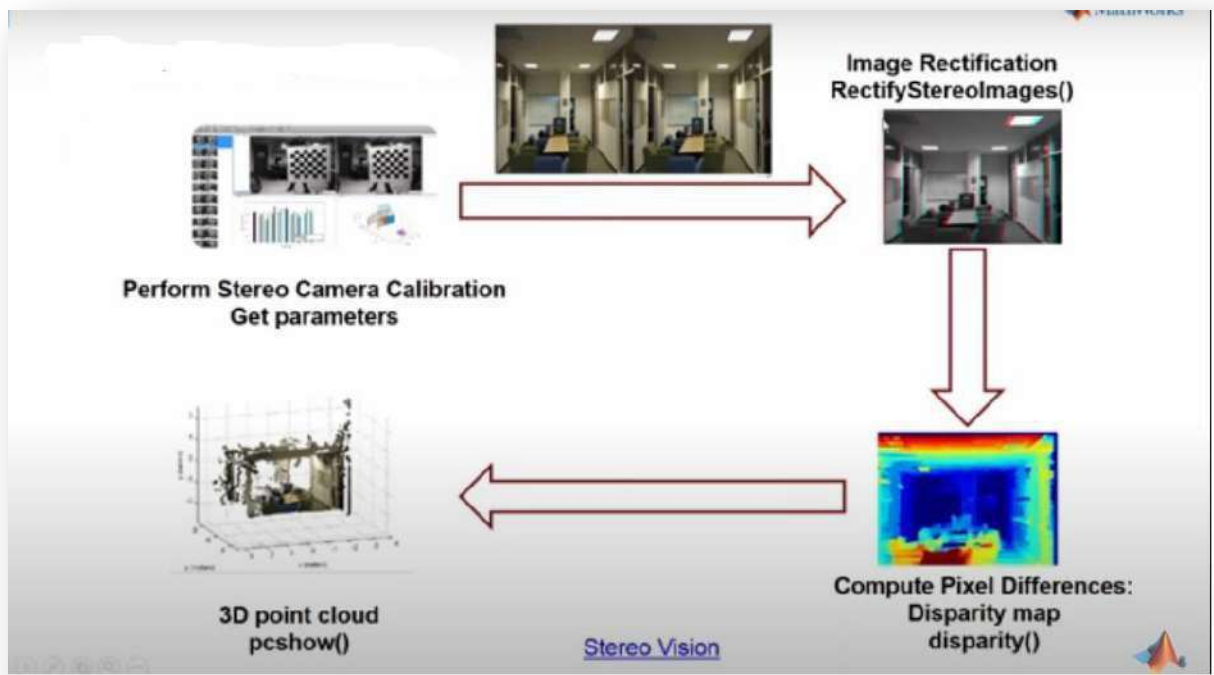


Figure III.2: Les étapes de la stéréo vision.

III.2. Calibrage de la caméra

Le processus de calibrage se traduit par deux types de paramètres importants, qui sont les paramètres extrinsèques et les paramètres intrinsèques. Les paramètres extrinsèques expliquent la direction de la caméra droite par rapport à la caméra gauche, et les paramètres intrinsèques expliquent comment les points sont convertis à partir de la caméra aux coordonnées des pixels.

Ces paramètres sont très importants pour les prochaines étapes de ce chapitre, du processus de correction des images au processus de reconstruction tridimensionnelle, et nous avons mis ces données obtenues dans le (Tableau III.1) où « Résolution » représente la taille de l'image capturée. Images et vidéo, et le « Frame Rate » représente également le nombre de photos prises en 1 seconde de la vidéo, et "Distance entre les deux caméras" représente la distance entre les deux caméras utilisées dans l'expérience, et "Durée" représente également le temps pris pour capturer la vidéo contenant 100 images, que nous exprimons en "Nombre d'images totales".

Paramètres	Camera de droite	Camera de gauche
Resolution	640 x 480	640 x 480
Frame rate	10	10
Distance entre les deux cameras	10 cm	10 cm
Durée	10 s	10 s
Nombre d'images totales	100	100

Tableau III.1 : Paramètres de calibrage des caméras.

Le Calibrage de la caméra est le processus d'estimation des paramètres intrinsèques (et / où) extrinsèques. Les paramètres intrinsèques concernent les caractéristiques internes de l'appareil photo, telles que sa distance focale, son inclinaison, sa distorsion et le centre de l'image. Les paramètres extrinsèques décrivent sa position et son orientation dans le monde. La connaissance des paramètres intrinsèques est une première étape essentielle pour la vision par ordinateur 3D, car elle vous permet d'estimer la structure de la scène dans l'espace euclidien et supprime la distorsion de l'objectif, ce qui dégrade la précision [S15].

Le processus de Calibrage est une condition préalable importante pour la plupart des tâches de vision de calcul. En général, un système de vision est calibrage à deux fins en grande partie, pour calculer les coordonnées de l'image à partir de coordonnées du monde données (projection) ou pour estimer la position 3D d'un point du monde à partir de ses points d'image stéréo (rétroprojection). La projection est principalement utilisée en infographie, où un modèle d'appareil photo idéal est souvent utilisé. D'autre part, le but de la rétroprojection est principalement d'effectuer des mesures de position pour des applications 3D, y compris l'inspection dimensionnelle et la manipulation robotique. Lorsque des caméras sont utilisées pour des applications de rétroprojection, une grande précision de l'étalonnage est donc importante [32].

Dans ce contexte, nous avons utilisé dans notre travail cet échiquier montré dans (Figure III.3), qui a été photographié avec deux caméras Web présentant certaines caractéristiques, dont nous parlerons plus tard.



Figure III.3 : Caméras Web et échiquier utilisés pour le calibrage.

L'échiquier doit avoir un nombre pair de cases d'un côté et un nombre impair de cases de l'autre côté, comme nous l'avons fait (7×4).

III.2.1 Application de Calibrage de caméra stéréo

c) Présentation de Calibrage de la caméra stéréo [S16]

Dans ce cas, nous utilisons l'application *Stereo Camera Calibration* pour calibrer la caméra stéréo, que nous pouvons ensuite utiliser pour récupérer la profondeur des images. Le système stéréo se compose de deux caméras : Caméra 1 et Caméra 2. L'application peut soit estimer, soit importer des paramètres de caméra individuels. L'application calcule également la position et l'orientation de la caméra 2, par rapport à la caméra 1.

L'application *Stereo Camera Calibration* produit un objet contenant les paramètres de la caméra stéréo. Nous pouvons utiliser cet objet pour

- Corrigez les images stéréo avec un *rectifyStereoImages*.
- Nous reconstruisons la scène 3D à l'aide de la fonction *reconstructScene*.
- Nous calculons les emplacements tridimensionnels correspondant aux paires de points d'image à l'aide d'une fonction *triangulation*.

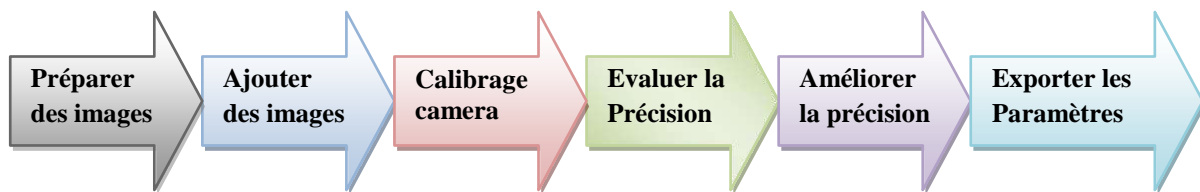
La suite de fonctions d'étalonnage utilisées par l'application Stéréo Camera Calibrage fournit le flux de travail pour l'étalonnage du système stéréo. Vous pouvez utiliser ces fonctions directement dans l'espace de travail MATLAB. Pour une liste des fonctions de calibrage, voir Calibrage de la caméra.

▪ Calibrage de la caméra stéréo

La vision stéréo est une technique de vision par ordinateur utilisée pour percevoir la profondeur d'une scène en combinant deux capteurs ou plus. Avec la deuxième caméra de position relative connue, la position 3D des points projetés sur le plan de la caméra peut être estimée par triangulation [33].

Travailler avec des caméras binoculaires nécessite une compréhension des calculs et de la configuration, qui influencent la distribution de probabilité des points 3D. De plus, le domaine d'application et le choix des algorithmes utilisés pour calculer et résoudre le problème de correspondance affecteront la carte de profondeur résultante et le nuage de points associé [33].

Afin d'avoir un bon calibrage de la caméra stéréo vision, nous suivons ces étapes :



Nous avons suivi ce flux de travail pour calibrer la caméra stéréo à l'aide de l'application :

- Nous avons préparé le calibrage des images, des caméras et des motifs.
- Nous avons ajouté des paires d'images.
- Calibrage de la caméra stéréo.
- Évaluez la précision de calibrage.
- Nous ajustons les paramètres pour améliorer la précision (si nécessaire).
- Exportez l'objet de paramètres.
- Dans certains cas, les paramètres par défaut fonctionnent correctement et nous n'avons pas besoin d'apporter d'améliorations avant d'exporter les paramètres. nous pouvons également apporter des améliorations en utilisant les fonctions de calibrage de la caméra directement dans l'espace de travail MATLAB.

Pour une liste des fonctions, voir Calibrage de la caméra.

▪ Calibrage de l'image

Tout d'abord, nous devons utiliser la caméra pour obtenir l'image de la plaque de calibrage. Ici, un échiquier est utilisé comme plateau de calibrage pour obtenir les meilleurs résultats. Nous prenons plusieurs photos du tableau dans toutes les directions pour vous de 11 à 20 photos, en évitant d'avoir plusieurs photos dans la même position. La taille de la plaque de calibrage dépend du champ de vision de la caméra.

Les images utilisées pour le calibrage sont les suivantes :

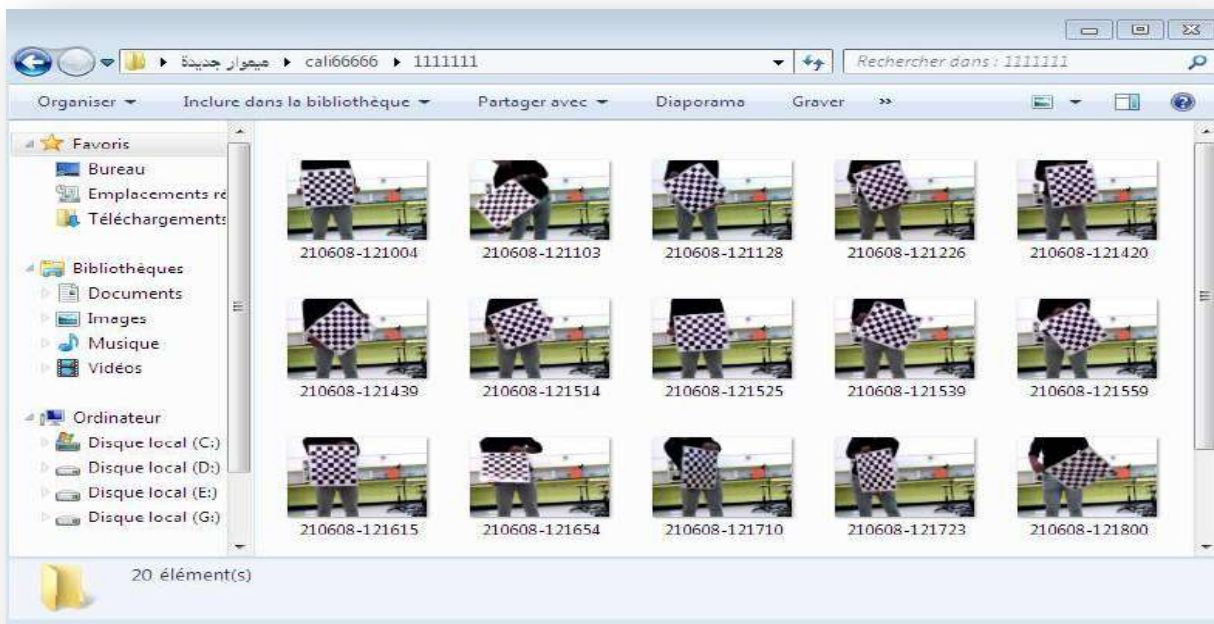


Figure III.4 : Images utilisées pour le calibrage.

Après avoir photographié l'échiquier sous différents angles, en fait, les prises de vue n'étaient pas très bonnes, la lumière était inégale et les changements d'angles différents n'étaient pas très importants, on a donc utilisé du papier A4 pour imprimer la photo. L'effet échiquier n'est pas bon, ce qui peut affecter l'effet d'étalonnage de suivi, que nous expliquerons plus tard.

▪ Outils de calibrage dans MATLAB

Nous ouvrons MATLAB et recherchons le *Stereo Camera Calibrator* dans APPS comme indiqué dans l'image.

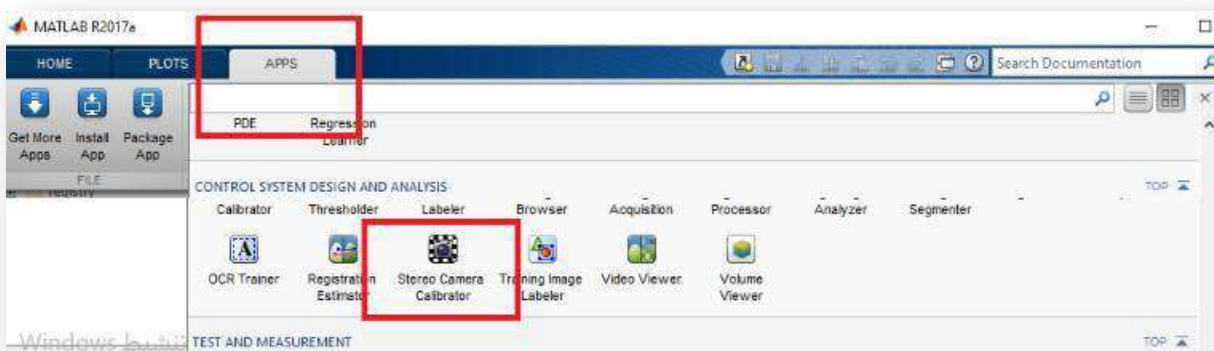


Figure III.5 : Icône de Stereo Camera Calibrator et APPS.

Pour démarrer le calibrage, nous cliquons sur Ajouter des images pour ajouter deux ensembles d'images stéréo d'échiquier. Nous marquons les emplacements des images

Correspondant à la caméra 1 et à la caméra 2. Nous entrons la longueur d'un côté d'un carré d'un motif en damier.

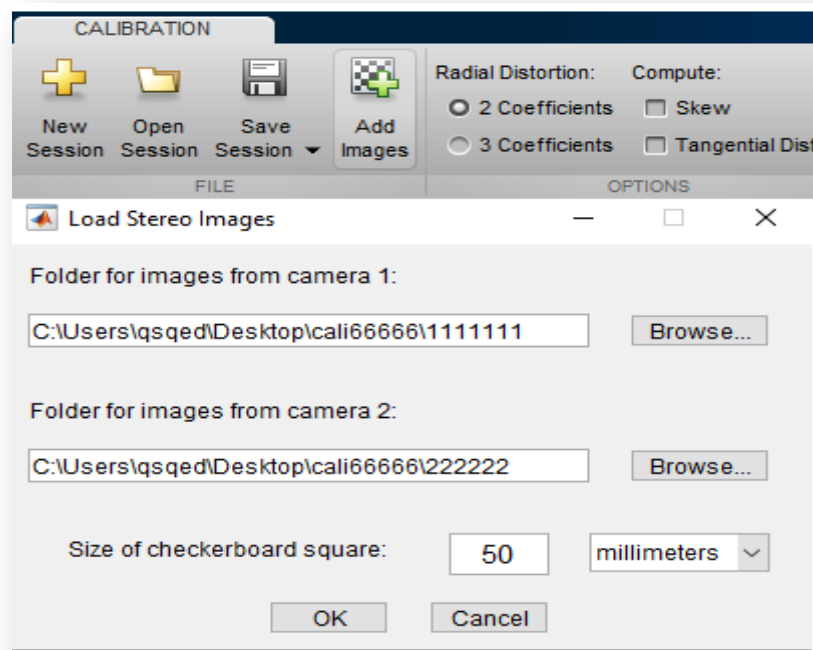


Figure III.6 : Icône ajouter des images et choisir des images.

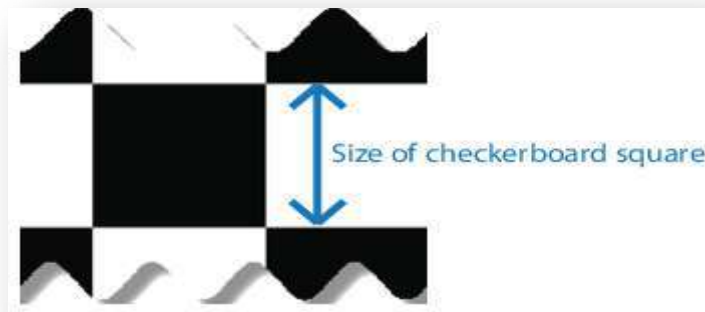


Figure III.7 : Comment calculer la taille d'un échiquier.

L'analyse d'image

Après cela, le calibrateur essaie de détecter le damier dans chacune des images ajoutées. Une fenêtre de barre de progression de l'analyse d'image apparaît, indiquant la progression de la découverte.

Si l'une des paires d'images est rejetée, la fenêtre des résultats de détection apparaît, qui contient des informations de diagnostic. Les résultats indiquent le nombre total de paires

D'images traitées et le nombre de paires d'images qui ont été acceptées, rejetées ou ignorées. La calibration ignore les images en double.

Il rejette également les images dans lesquelles l'ensemble du damier ne peut pas être détecté. Les raisons possibles de l'absence de détection sont une image floue ou un angle extrême du motif. La détection prend plus de temps avec des images plus grandes et des motifs avec un grand nombre de carrés.

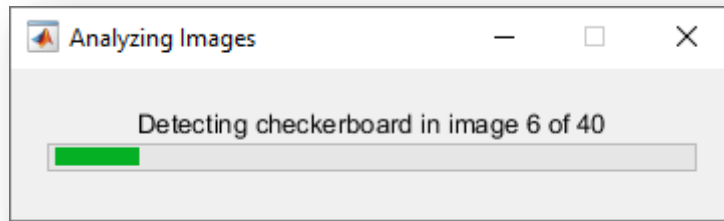


Figure III.8: D'analyse d'image.

Après avoir téléchargé l'image, les coins de la grille de l'échiquier ont été automatiquement détectés. Les photos qui n'ont pas réussi à détecter l'angle ne sont pas téléchargées. Il montre également le système de coordonnées réel de la grille de l'échiquier. L'origine, la direction de l'axe (x, y) et la direction de l'axe z sont déterminées selon la règle de la main droite.

Et après avoir cliqué sur le bouton *Calibrate* pour le calibrage, après une courte période de temps, le processus de calibrage est terminé Comme le montre la (Figure III.9). Dans l'image en damier, le cercle vert indique la position du point d'angle détecté, le (+) rouge indique la position du point d'angle après recalibrage, le carré jaune indique l'origine $(0,0)$. Les flèches X et Y indiquent le sens des axes du damier et les erreurs dans le graphique situé dans le coin inférieur droit de (Figure III.9). Un diagramme en trois dimensions des paramètres externes (*Extrinsics*) qui est disponible sur un appareil photo autour duquel les affichages de motif sont centrés pour évaluer la précision de l'étalonnage. L'affichage est utile si l'appareil photo est stationnaire lors de la prise de photos Cet affichage peut nous aider à vérifier les positions relatives des motifs et de la caméra pour voir s'ils correspondent Et nous pouvons supprimer les images externes et recalibrer pour améliorer les résultats.

L'erreur de rétablissement est affichée pour chaque point de coin dans l'image actuelle. Le point de rétablissement est le point de coordonnées du système de coordonnées physiques du point d'angle de la grille d'échecs après l'étalonnage. Le point de coordonnées sous le système de coordonnées de l'image est calculée en fonction de la projection des paramètres internes et externes de la caméra, et l'erreur de reprojection est la distance euclidienne entre le point de coordonnées de reprojection et le point de coordonnées d'image de l'angle détecté. La vue (*Reprojection Errors*) dans le coin inférieur gauche de la (Figure III.10) montre le placement de chaque système de coordonnées physiques dans le damier et le système de coordonnées de la caméra, c'est-à-dire les paramètres externes correspondants de l'échiquier [S17].

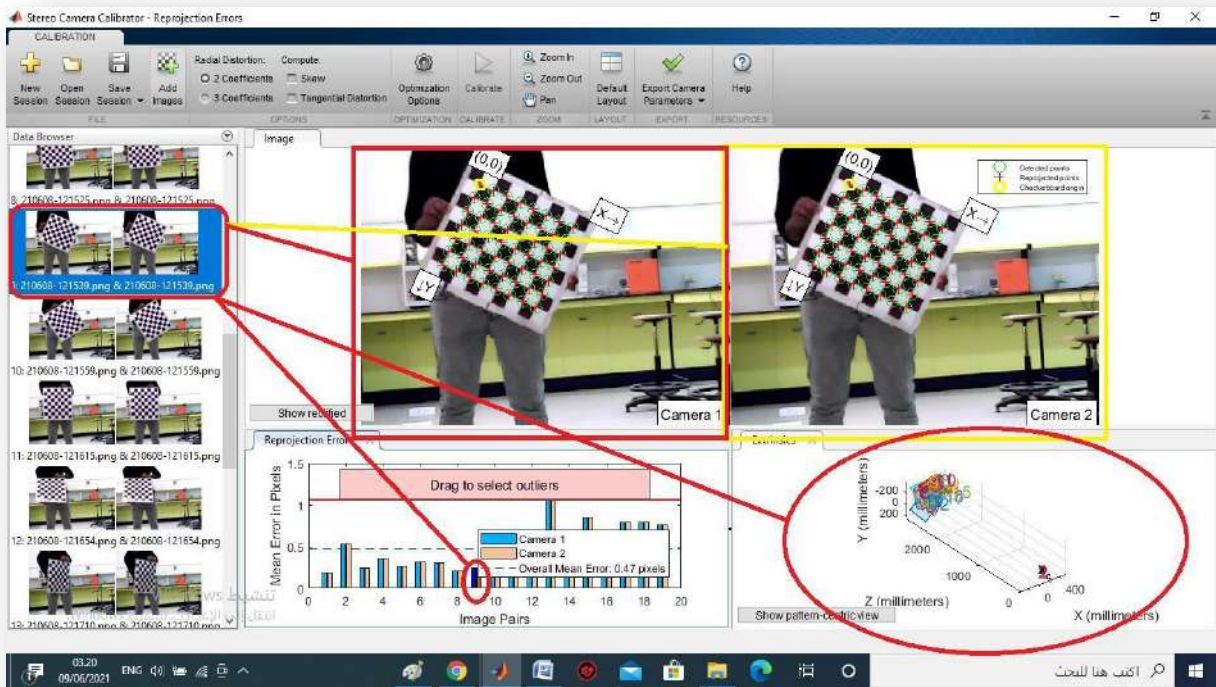


Figure III.9 : Achèvement de calibrage.

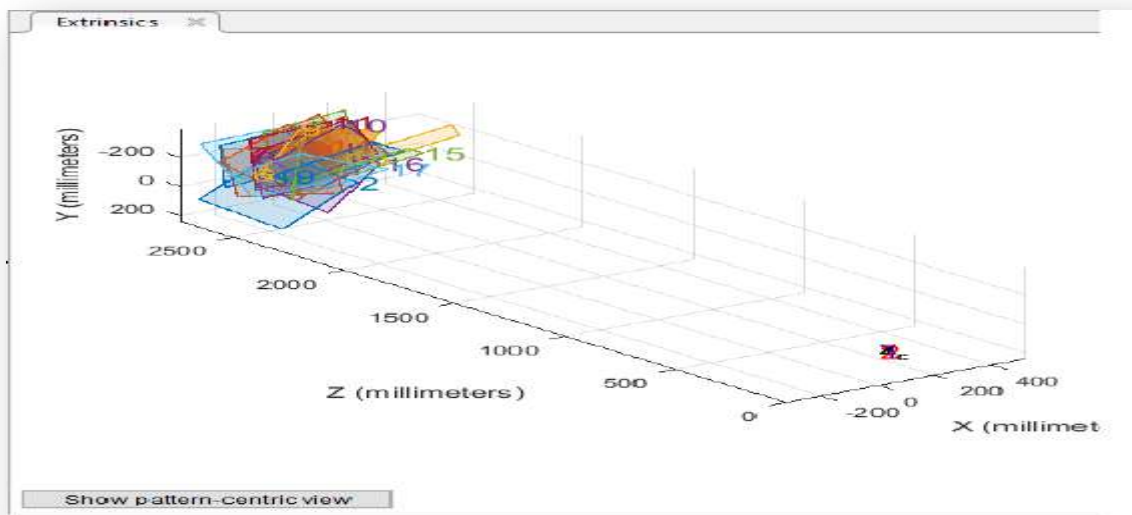


Figure III.10 : formes de paramètres externes.

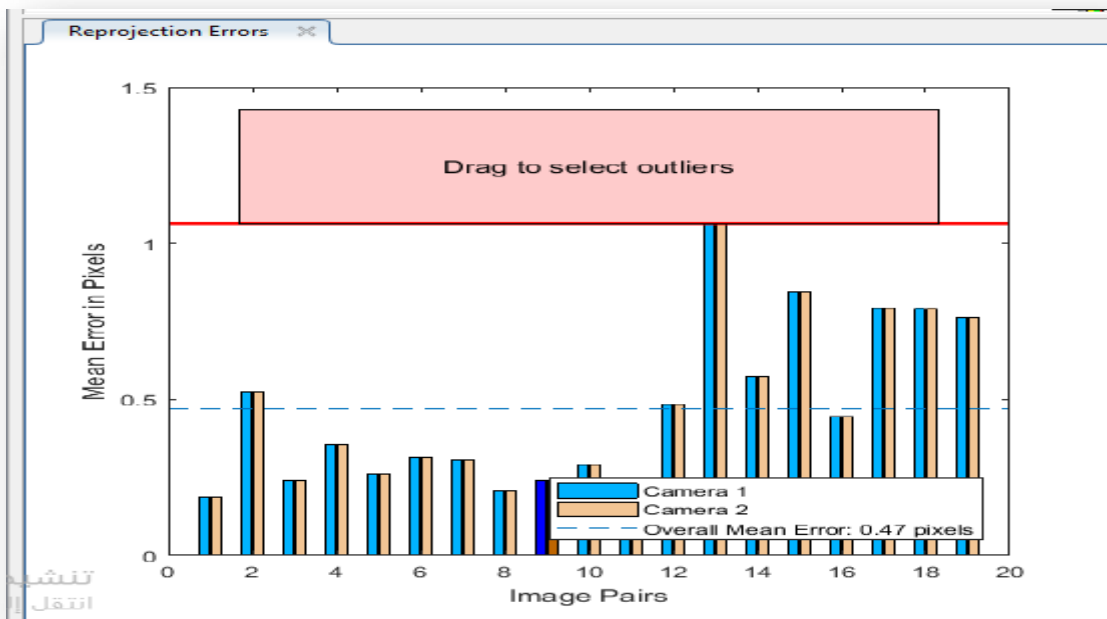


Figure III.11 : Graphique des erreurs de reprojection.

L'erreur de re-projection (*Overall Mean error pixels*) est légèrement faible à (0,47 pixels). Nous pouvons essayer de la réduire en sélectionnant les paires d'images qui ont une erreur moyenne en pixels (cela nous donne la possibilité de supprimer et de recalibrer) et ainsi réduire l'erreur de re-projection (Figure III.13).

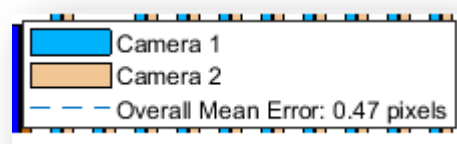


Figure III.12 : Moyenne globale des pixels d'erreur.

Après avoir cliqué sur *Export Camera Parameters* pour exporter les résultats de l'étalonnage, nous revenons à l'interface principale de MATLAB pour afficher les informations sur les paramètres pertinents.

Les paramètres stéréo de l'espace de travail (*WorkSpace*) contiennent les paramètres intrinsèques des deux caméras. La relation géométrique entre les deux caméras, telle que la rotation, la translation et le mappage point à point, signifie une erreur de projection. Les paramètres de calibrage sont utilisés, tels que le nombre de paires d'images et le nombre de points (Figure III.14).

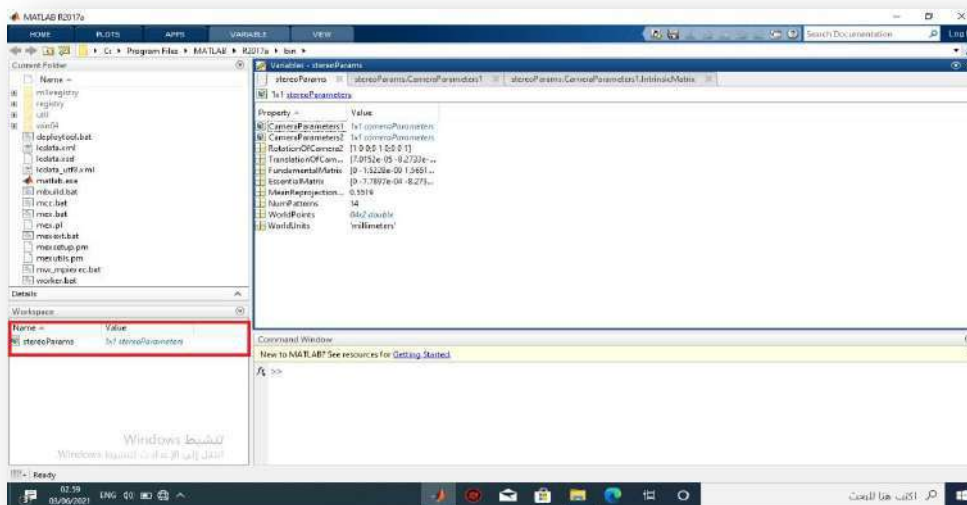


Figure III.13 : Les paramètres intrinsèques des deux caméras.

On retrouve parmi eux plusieurs paramètres importants prenons par exemple les premiers paramètres de la caméra : *IntrinsicMatrix* (ici la matrice des paramètres internes est exprimée sous la forme $[fx, 0, 0; 0, fy, 0; cx, cy, 1]$), Paramètres de distorsion *RadialDistortion* et *TangentialDistortion* (correspondant au modèle de distorsion k_1, k_2, k_3, p_1, p_2), respectivement (Figure III.15) [S17].

Variables - stereoParams.CameraParameters1.IntrinsicMatrix					
stereoParams.CameraParameters1.IntrinsicMatrix					
	1	2	3	4	5
1	1.3280e+03	0	0		
2	0	1.3292e+03	0		
3	220.0257	248.8114	1		
4					

Variables - stereoParams.CameraParameters1.RadialDistortion					
stereoParams.CameraParameters1.RadialDistortion					
	1	2	3	4	5
1	0.0750	-3.1637			
2					
3					
4					

Variables - stereoParams.CameraParameters1.TangentialDistortion				
stereoParams.CameraParameters1.TangentialDistortion				
	1	2	3	4
1	0	0		
2				
3				
4				

Figure III.14 : Images des icônes *IntrinsicMatrix*, *RadialDistortion* et *TangentialDistortion*.

Autres paramètres

WorldPoints est le système de coordonnées physiques pour chaque point d'angle de chaque image. Les coordonnées de l'axe **xy** sont répertoriées ici. Étant donné que tous les points d'angle sont sur le même plan, les valeurs de coordonnées **z** sont toutes nulles [S17].

TranslateVectors est le vecteur de translation de la relation de transformation entre le système de coordonnées physiques de l'échiquier et le système de coordonnées de la caméra correspondant pour chaque image, noté T_c , et *RotationMatrices* est la matrice de rotation correspondant au système de coordonnées physiques dans l'échiquier de l'échiquier. Les coordonnées d'un point **Pw** (**px** ; **py** ; **pz**) sur le système de coordonnées physiques dans le damier sous le système de coordonnées de la caméra sont **Pc** (**pcx** ; **pcy** ; **pcz**), alors $P_c = P_w * R_c + T_c$. *RotationVectors* est le vecteur de rotation correspondant aux *RotationMatrices* [S17].

Les *ReprojectrdPoints* sont les points de reprojectrd des points d'angle. Les erreurs d'annulation sont une erreur d'annulation pour un point d'annulation. *MeanReprojectionError* est la valeur moyenne de l'erreur de reprojection (Figure III.16) [S17].

The figure displays six data tables from a software interface, arranged in a 3x2 grid. Each table has a title bar and a data grid with 9 rows and 5 columns.

Variables - stereoParams.CameraParameters1.WorldPoints					
stereoParams.CameraParameters1.WorldPoints					
	1	2	3	4	5
1	0	0			
2	0	50			
3	0	100			
4	0	150			
5	0	200			
6	0	250			
7	0	300			
8	50	0			
9	50	50			

Variables - stereoParams.CameraParameters1.MeanReprojectionError					
stereoParams.CameraParameters1.MeanReprojectionError					
	1	2	3	4	5
1	0.4691				
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					

Variables - stereoParams.CameraParameters1.TranslationVectors					
stereoParams.CameraParameters1.TranslationVectors					
	1	2	3	4	5
1	124.1310	-20.4782	2.6840e+03		
2	102.2441	7.9017	2.4881e+03		
3	-43.6883	93.2510	2.6388e+03		
4	-50.1459	45.9662	2.6325e+03		
5	-52.6836	8.6331	2.6352e+03		
6	-175.0245	-99.0907	2.6039e+03		
7	-185.4028	-245.5872	2.6011e+03		
8	-173.9661	-219.9631	2.6010e+03		
9	-25.4852	-362.2902	2.5861e+03		

Variables - stereoParams.CameraParameters1.RotationVectors					
stereoParams.CameraParameters1.RotationVectors					
	1	2	3	4	5
1	-0.0872	-0.0300	3.0671		
2	0.2743	0.6831	2.3426		
3	-0.0430	-0.0056	-2.2317		
4	0.0919	-0.0742	-1.9582		
5	-0.0019	-0.0546	-1.7194		
6	0.0142	-0.0119	-0.7941		
7	0.0480	0.0711	-0.3809		
8	-0.0224	-0.0692	-0.0925		
9	0.0622	-0.0957	0.4257		

Variables - stereoParams.CameraParameters1.ReprojectrdPoints					
stereoParams.CameraParameters1.ReprojectrdPoints					
val (:, :, 1) -					
281.4533	238.6686				
279.6887	213.9595				
277.9185	189.2270				

Variables - stereoParams.CameraParameters1.RotationMatrices					
stereoParams.CameraParameters1.RotationMatrices					
val (:, :, 1) =					
-0.9987	0.0736	-0.0560			
-0.0725	-0.9971	-0.0216			
-0.0874	-0.0174	0.9982			
val (:, :, 2) =					
-0.7516	0.6595	0.0128			

Figure III.15 : Images et icônes WorldPoints, TranslateVectors, RotationMatrices, RotationVectors, ReprojectrdPoints et MeanReprojectionError.

▪ Le but de calibrage de la caméra stéréo

Le calibrage est un processus qui détermine la relation entre les valeurs de la grandeur mesurée indiquées par l'instrument de mesure et les valeurs correspondantes des grandeurs physiques.

Sans ce processus, il est impossible d'obtenir une référence aux valeurs réelles et une interprétation correcte des résultats.

Pour la même raison, les caméras nécessitent un calibrage. Le calibrage de la caméra est le processus qui fournit de multiples paramètres qui définissent et se rapportent aux caractéristiques spécifiques de la caméra.

Celles-ci sont essentielles lors de l'extraction d'informations 3D à partir d'images 2D, de la mesure de la taille des objets en unités globales, du processus visuel-odomètre, de la reconstruction d'une scène 3D et de nombreuses applications dans le domaine de la vision par ordinateur et de la robotique citeSong2013 [34].

▪ Les paramètres de la caméra

Il y a deux groupes de paramètres.

Le premier groupe présenté est celui des **paramètres intrinsèques** ou internes de la caméra.

Ceux-ci représentent les relations entre les coordonnées des pixels et les coordonnées du cadre de la caméra. Ils suppriment les distorsions causées par les imperfections de l'objectif de l'appareil photo. Ils trouvent le véritable centre de l'image et définissent la distance focale correcte.

Le deuxième groupe de paramètres est constitué de **paramètres de caméra extrinsèques** ou externes. Ceux-ci expriment la relation entre les coordonnées des différentes positions de caméra. De plus, dans un boîtier de caméra stéréo, il représente la relation entre les positions de deux caméras. Ils permettent de reconstruire le modèle du monde 3D à partir des vues des caméras. Ils représentent la position liée, qui sont utilisés pour la compréhension de l'environnement [34].

Dans le cadre de ce travail, nous mettons des mesures au sol à l'aide d'un mètre ruban manuel pour les faire correspondre aux mesures obtenues ultérieurement.

III 3. La rectification des images des deux caméras

La rectification d'image stéréo consiste en la transformation de deux images d'une même scène de telle sorte que pour chaque correspondance de pixel entre les deux vues, les deux pixels soient alignés selon l'axe horizontal de l'image. L'objectif principal de la rectification d'images en stéréo vision est d'optimiser la profondeur des méthodes stéréo à la fois en temps de calcul et en robustesse [35].

(Figure III.16) représente deux images d'une scène prises par deux caméras de mêmes caractéristiques, l'une à droite et l'autre à gauche.

Les deux images (figure III.17) montrent des lignes ondulées et non droites avant rectification.



Figure III.16 : (a) Image originale de la caméra gauche, (b) Image originale de la caméra droite.

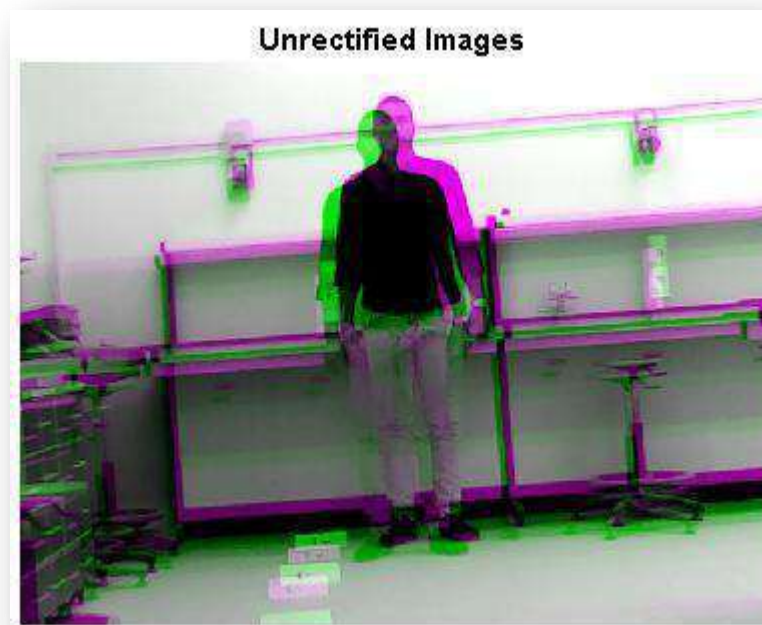


Figure III.17 : Images non rectifiés.

III 3.1 Apres rectification

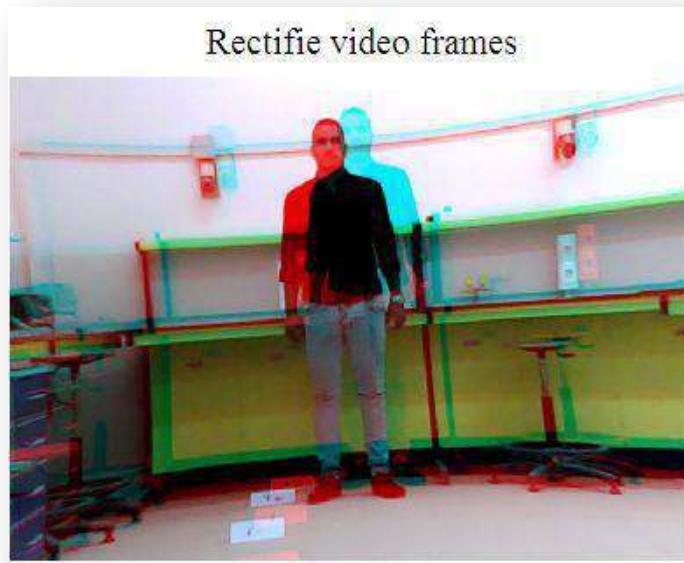


Figure III.18 : Images rectifiés.

Les paramètres internes et externes collectés par la boîte à outils de calibration MATLAB sont utilisés pour cette étape de rectification.

La fonction « *rectifyStereoImages* » est utilisée pour la rectification stéréo. La (Figure III.17) montre la paire d'images avant la rectification stéréo. La distorsion de l'image est très grave, et les mêmes points ne sont pas sur la même ligne. La (Figure III.18) montre la paire d'images après rectification de distorsion par rectification stéréo. La distorsion de l'image est rectifiée et les mêmes points sont fondamentalement sur la même ligne.

III 4. Mesure de la Disparité

Dans les images stéréo rectifiées, toute paire de points correspondants est située sur la même rangée de pixels. Pour chaque pixel de l'image de gauche, on calcule la distance au pixel correspondant de l'image de droite. Cette distance s'appelle la disparité, et elle est proportionnelle à la distance du point du monde correspondant à la caméra.

Une disparité plus élevée signifie que l'objet est plus proche de la ligne de base de la caméra. Inversement, une disparité inférieure indique que l'objet est plus éloigné de la ligne de base de la caméra. La (Figure III.19) montre une carte de disparité.

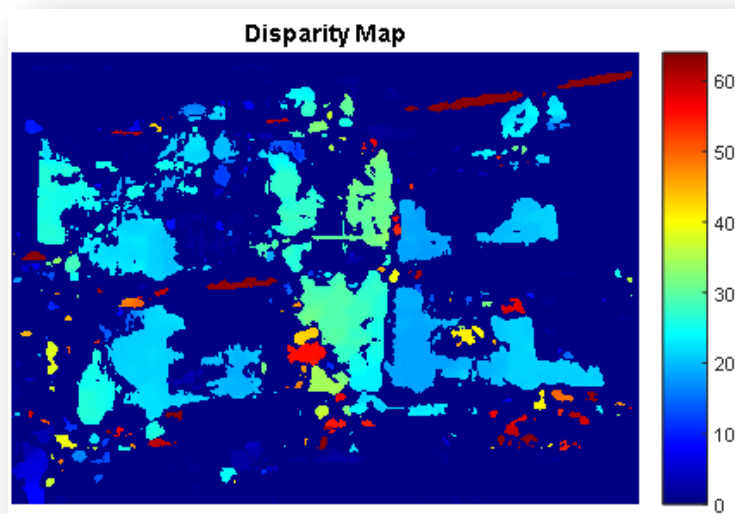


Figure III.19 : Carte De Disparité.

III 5. Reconstruction de la scène en 3D

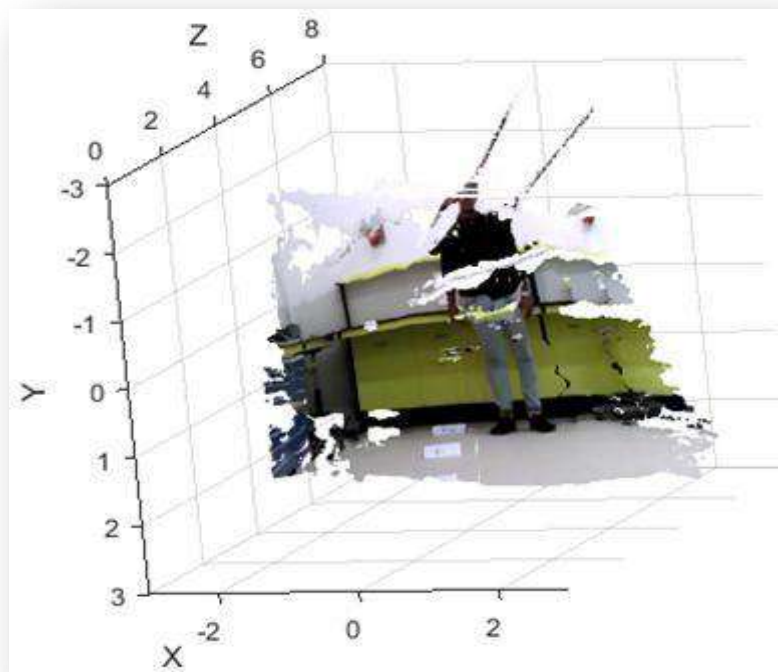


Figure III.20 : Reconstruire la scène en 3D.

Reconstruction tridimensionnelle. Le processus de reconstruction à trois dimensions utilise les paramètres et le calibrage de la caméra pour calculer la disparité. Les coordonnées tridimensionnelles qui correspondent aux pixels servent d'entrée pour la carte de disparité. Les coordonnées tridimensionnelles relatives au centre optique de la caméra de gauche sont

Basées sur les matrices fondamentales et essentielles. La (Figure III.20) représente une reconstruction tridimensionnelle de la carte de disparité.

III 6. Détection d'objet et segmentation

Contrairement à la plupart des autres travaux de vision stéréo [63], le processus d'appariement stéréo que nous utilisons n'est appliqué qu'à l'objet d'intérêt qui peut être détecté à l'aide d'un algorithme de détection d'objet. Cette approche est beaucoup plus rapide par rapport à la correspondance stéréo à l'aide des caractéristiques de similarité dans les deux images [67].

Un détecteur dans notre cas est composé par association d'un modèle de personne, un descripteur, un classificateur et souvent un processus de suppression de *Non-maxima*.

Parmi les détecteurs qui font consensus dans la littérature nous citons :

HOG-SVM [Dalal 2005], DPM [Felzenszwalb2010], ACF [Dollar 2014], LDCF [Nam 2014], DeepPed [Tome 2016], et RCNN [Girshick 2014].

La (Figure III.21) représente une détection de personne par le descripteur Agrégat canal Caractéristiques « *Aggregate Channel Features* » (ACF).

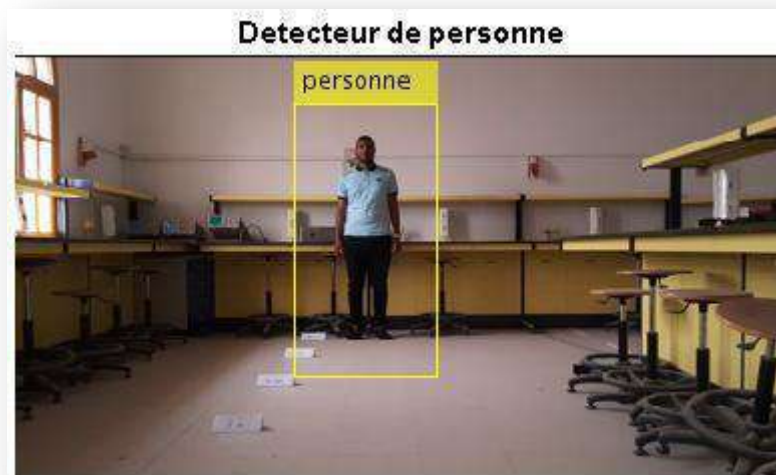


Figure III.21 : Détecteur de Personne.

Ce détecteur, à faible cout CPU, repose sur le concept de fonctionnalités de la chaîne « *Channel features* » ; il surclasse nombre de détecteurs et ceci sur nombre de bases publiques [Dollar 2014]. Il est basé sur des descripteurs type ACF, un classificateur *soft-cascade*, et une représentation de personne holistique.

III 7. Mesure de la distance entre l'objet et la camera

Pour mesurer la distance de chaque personne à la caméra on doit tout d'abord Trouvez les coordonnées réelles en 3D du centroïde de chaque personne détectée et calculez la distance entre le centroïde et la caméra en mètres.

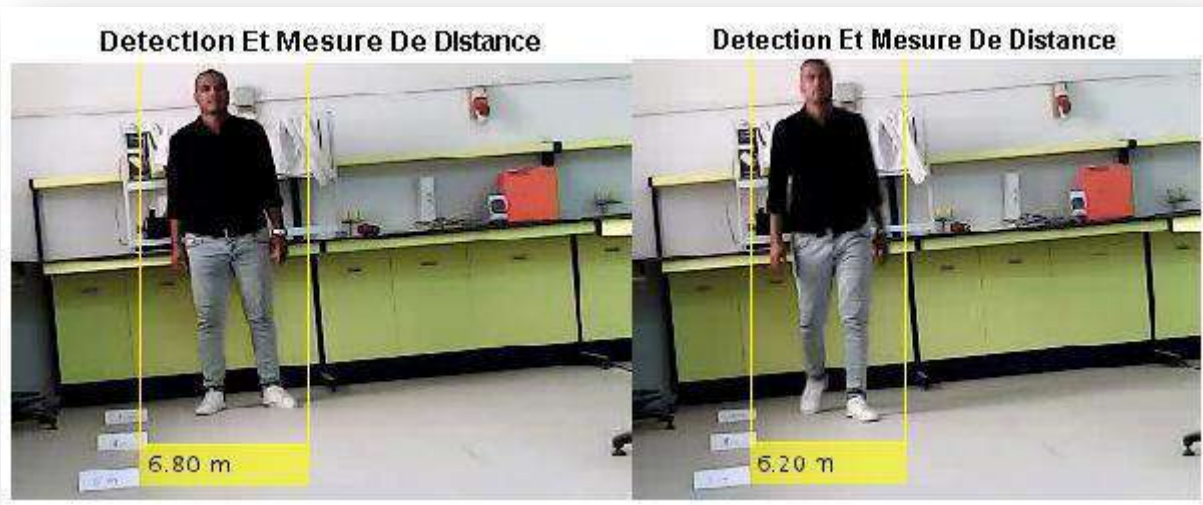


Figure III.22 : Détecteur de personne et mesure de distance.

Distance Réelles(m)	Distances Mesurées(m)	Erreur (m)
7.00	6.60	0.40
6.50	6.25	0.25
6.00	5.87	0.13
5.50	5.46	0.04
5.00	5.04	0.04
4.50	4.52	0.02

Tableau III.2: Résultats des mesures de distances.

Pour cela on a utilisé un algorithme qui a été implémenté à l'aide du langage de programmation MATLAB 16a et exécuté sur un processeur Intel(R) Core (TM) i3 CPU M 330 @ 2.13GHz (4 CPUs), ~2.1GHz, et 4096MB de RAM.

Des tests ont été effectués pour la précision du système de mesure et de la distance de l'objet détecté. Les résultats de certaines mesures de distance sont présentés dans la (Table III.2). La (Figure III.21) montre quelques résultats de détection et d'identification sur des images. Alors que sur la (Figure III.22) on trouve en plus que la détection de la personne les résultats de mesure de distances entre la personne et la caméra.

D'après le (Table III.2) les résultats expérimentaux montrent que lorsque la distance de l'objet mesuré est plus proche de la caméra, la précision des informations de profondeur mesurées par le système de vision stéréo binoculaire est plus élevée. Comme la distance augmente, l'erreur de mesure augmente également et la précision de mesure diminue. En comparant la distance de mesure et erreur de mesure, à moins de **5.50 mètres**, l'erreur ne dépasse pas **4%**. Cette erreur de mesure du système provient principalement de deux erreurs celle de la correspondance des images et l'erreur du capteur optique. Pour l'erreur de correspondance d'image elle est généralement due au problème de programmes. Pour réduire l'erreur, nous devrions trouver une manière plus efficace de faire correspondre les images. L'autre Erreur du capteur optique vient de l'inégal de l'axe optique, focale des caméras erreur de longueur, erreur de

Ligne de base et d'autres. Pour réduire l'optique erreur de capteur, il est nécessaire de sélectionner une optique de haute qualité équipements, ajustez soigneusement dans le processus d'expérience, et fixe les équipements fermement après ajustement.

III.8. CONCLUSION

La mesure de la distance d'un objet à l'aide d'un système de vision stéréo est proposée dans ce travail. La méthode utilise des algorithmes plus simples afin d'obtenir une vitesse de traitement beaucoup plus rapide tel que les détecteurs d'objet.

Les résultats de ce travail montrent que la méthode proposée est capable de produire des mesures de distance avec erreur minimale. La recherche à l'avenir devrait utiliser des caméras vidéo avec de meilleures performances de traitement qui minimise les défauts de correspondance des images vidéo. Autres méthodes devraient également être développées, ce qui permet de réaliser des mesures de distance des objets de toutes sortes, en mouvement ou immobiles.

L'utilisation des machines très performantes cela signifie avoir la possibilité d'appliquer des méthodes en temps réel ce qui aidera à accélérer le traitement pour mesurer les distances, et surtout dans les domaines de la robotique, l'automobile ou encore de l'industrie.

Conclusion générale

Conclusion générale

les robots mobiles sont devenus un facteur essentiel de la vie humaine en l'aidant dans une gamme de tâches différentes donc , il est nécessaire que les robots soient équipés d'un ensemble d'appareils et des applications capables de découvrir l'environnement extérieur, et de ce point de vue, on a essayé de travailler sur l'un des plus importants de ces dispositifs et applications, qui sont les capteurs passifs représentés par une caméra stéréo, à travers laquelle le robot identifie l'environnement extérieur. Pour cela on a utilisé des algorithmes plus simples pour atteindre des vitesses de traitement plus rapides, tels que des détecteurs d'objets, au lieu d'utiliser d'autres techniques de détection qui sont coûteuses en temps de traitement.

Selon notre modeste étude un système de perception qui utilise la stéréo vision rencontre deux problèmes fondamentaux et étroitement liés : l'identification de points partenaires ou bien homologues et la calibration du système d'imagerie. Savoir afficher des points de scène sur une image est une étape difficile. Cependant, l'obtention des coordonnées des points dans l'espace est quasi instantanée si les paramètres de calibration sont connus. Ensuite, il ne reste plus qu'à résoudre les équations de triangulation pour avoir la profondeur ou la distance en temps réel.

Finalement, ce travail ouvre de nombreuses perspectives pour l'amélioration du système mise en place on parle par exemple d'ajouter d'autres capteurs comme des ultrasons ou un télémètre laser pour avoir des résultats plus précis et aussi avoir des machines plus performantes pour qu'on puisse traiter les informations en réduisant le temps au maximum.

Ce travail est surtout consacré à la vision robotique et l'automobile, mais la stéréovision peut être appliquée dans bien d'autres domaines.

المخلص

يُقتَرَح في هذا العمل قياس مسافة جسم ما باستخدام نظام رؤية مجسم. تستخدم الطريقة خوارزميات أبسط من أجل الحصول على سرعة

معالجة أسرع بكثير مثل أجهزة الكشف عن الكائنات بدلاً من استخدام تقنيات الكشف الأخرى التي تستغرق وقتاً طويلاً في المعالجة.

تظهر نتائج هذا العمل أن الطريقة المقترحة قادرة على إنتاج قياسات المسافة بأقل قدر من الخطأ. يجب أن يستخدم البحث في المستقبل كاميرات فيديو ذات أداء معالجة أفضل يقلل من عدم تطابق صور الفيديو. يجب أيضاً تطوير طرق أخرى يمكن أن تسمح بقياسات المسافة من الأشياء من جميع الأنواع، سواء كانت متحركة أو ثابتة.

أن يكون لديك آلة قوية جداً لإمكانية تطبيق الأساليب في الوقت الفعلي مما سيساعد على تسريع طريقة قياس المسافة هذه لمجالات الروبوتات أو السيارات أو حتى الصناعة.

Abstract

The measurement of the distance of an object using a stereo vision system is proposed in this work. The method uses simpler algorithms to achieve much faster processing speed such as object detectors instead of using other detection techniques that are costly in processing time.

The results of this work show that the proposed method is capable of producing distance measurements with minimal error. Research in the future should use video cameras with better processing performance that minimizes mismatch of video images. Other methods should also be developed which can allow distance measurements from objects of all kinds, moving or stationary.

To have a very powerful machine to have the possibility of applying methods in real time which will help to accelerate this method of distance measurement for the fields of robotics, automobile or even industry.

Résumé

La mesure de la distance d'un objet à l'aide d'un système de vision stéréo est proposée dans ce travail. La méthode utilise des algorithmes plus simples afin d'obtenir une vitesse de traitement beaucoup plus rapide tel que les détecteurs d'objet.

Les résultats de ce travail montrent que la méthode proposée est capable de produire des mesures de distance avec erreur minimale. La recherche à l'avenir devrait utiliser des caméras vidéo avec de meilleures performances de traitement qui minimise les défauts de correspondance des images vidéo. Autres méthodes devraient également être développées, ce qui permet de réaliser des mesures de distance des objets de toutes sortes, en mouvement ou immobiles.

L'utilisation des machines très performantes cela signifie avoir la possibilité d'appliquer des méthodes en temps réel ce qui aidera à accélérer le traitement pour mesurer les distances, et surtout dans les domaines de la robotique, l'automobile ou encore de l'industrie.

Références

Références

- [1] Filliat, David. Robotique mobile. Diss. EDX, 2011.
- [2] Agnès Guillot, « la robotique de A à Z », le laboratoire de recherche dédié au développement, 20/01/2003.Georges.
- [3] D. Filliat, "Introduction," in Robotique Mobile, D. Filliat, Fondation. Paris Tech, ENSTA Eds. UNIT : 2004, pp. 9–14.
- [4] Sukhla, N. "A review on image based target distance and height estimation technique using laser pointer and single video camera for robot vision." International Journal of Engineering Research And Reviews 3.1 (2015).
- [5] Widodo, Catur Edi, and Kusworo Adi. "Monitoring For Vehicle Velocity And Acceleration Using An Accelerometer." International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering (IJIRAE) 4.11 (2017): 20-23.
- [6] A. Ibrahim et B. Falehdinne « Ajustement visuel et automatique de la pince d'un manipulateur mobile sur la poignée d'une porte en exploitant la caméra embarquée : Application au robot RobuTER/ULM » Thème master de Université SAAD DAHLAB DE BLIDA (2012-2013).
- [7] Sujet2012-version-finale (Concours de recrutement des Technologues session 2012) Thème « Télémètre ultrasonore à impulsions » Spécialité Génie Electrique <https://www.espacetechnologue.com/wp-content/uploads/2017/03/Sujet2012-version-finale.pdf>
- [8] Ghoubache, Chakir Taqiy Eddine. "Etude et réalisation d'un télémètre à ultrason à base d'un microcontrôleur PIC 16F877A." (2014).
- [9] Victorino, Alessandro Correa, Patrick Rives, and J-J. Borrelly. "Mobile robot navigation using a sensor-based control strategy." Proceedings 2001 ICRA. IEEE International Conference on Robotics and Automation (Cat. No. 01CH37164). Vol. 3. IEEE, 2001.
- [10] Djarah, Djalal. Application des Réseaux de Neurones Pour la Gestion d'un Système de Perception Pour un Robot Mobile D'intérieur. Diss. Université de Batna 2, 2006.
- [11] Etude des différents capteurs existant en vue de leur intégration au cindynamètre (<https://www.fondation-maif.fr/up/pj/cindynometre-capteurs-rf.pdf>)
- [12] Nagar, S., and J. Verma. "Distance measurement using stereo vision." International Journal of Electrical And Electronics Engineers 7.01 (2015).
- [13] Konolige, Kurt, et al. "Outdoor mapping and navigation using stereo vision." Experimental Robotics. Springer, Berlin, Heidelberg, 2008.

- [14] Marin-Plaza, Pablo, et al. "Stereo vision-based local occupancy grid map for autonomous navigation in ros." 11th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications VISIGRAPP. Vol. 2016. 2016.
- [15] Gonzalez-Barbosa, Jose-Joel, and Simon Lacroix. "08-Stéréovision panoramique dense: calibrage précis et rectification d'images panoramiques." traitement du signal (2005).
- [16] El Zaart, Ali. Modèle de régularisation pour l'estimation de la disparité. éditeur non identifié, 1996.
- [17] NAAS NASREDDINE et RIAD SIDAHMED « Détermination de la position d'un objet à l'aide d'un couple de caméras » UNIVERSITE ABDELHAMID IBN BADIS MOSTAGANEM,(2011-2012)
- [18] Perrollaz, Mathias. Détection d'obstacles multi-capteurs supervisée par stéréovision. Diss. Université Pierre et Marie Curie-Paris VI, 2008.
- [19] Arfaoui, Aymen. "Calibrage et modélisation d'un système de stéréovision hybride et panoramique." (2015).
- [20] Manzano, Mario Ibarra. Vision multi-caméra pour la détection d'obstacles sur un robot de service: des algorithmes à un système intégré. Diss. INSA de Toulouse, 2011.
- [21] Charbonnier, Pierre, et al. "La stéréovision appliquée à l'analyse de scènes routières." Bulletin des laboratoires des ponts et chaussées n272 (2008): p57-74.
- [22] Lathuilière, Alexandra. Génération de mires colorées pour la reconstruction 3D couleur par système stéréoscopique de vision active. Diss. Dijon, 2007.
- [23] Graba, Tarik, et al. "Reconstruction 3D temps réel dans un VSIP." 20° Colloque sur le traitement du signal et des images, FRA, 2005. GRETSI, Groupe d'Etudes du Traitement du Signal et des Images, 2005.
- [24] Fakhfakh, Nizar. Détection et localisation tridimensionnelle par stéréovision d'objets en mouvement dans des environnements complexes: application aux passages à niveau. Diss. Ecole centrale de Lille, 2011.
- [25] OUMMAD, Hanane. Le strabisme de l'adulte. Diss. 2011.
- [26] Rançon, Florian. "Production de modèles numériques de terrain et de hauteur à partir d'images satellites tri-stéréoscopiques pour la cartographie et l'analyse des couverts végétaux arborés." (2020).
- [27] Zrig Khaled « La stéréoscopie : l'art de la vision en relief » Institut Provincial d'Enseignement de Promotion Sociale de Herstal - optique-optométrie, 2008.
<https://www.memoireonline.com/04/08/1033/stereoscopie-art-de-la-vision-en-relief.html>

- [28] Ali-Bey, Mohamed. Contribution à la spécification et à la calibration des caméras relief. Diss. Reims, 2011.
- [29] Abdenbi, Mazoul. "Contribution à la stéréovision spatio-temporelle pour l'aide à la conduite." (2013).
- [30] de Jesus Trujillo-Romero, Felipe. Modélisation et reconnaissance active d'objets 3D de forme libre par vision en robotique. Diss. Institut National Polytechnique de Toulouse-INPT, 2008.
- [31] AISSAOUI, Amel, Jean MARTINET, and Chaabane DJERABA. "Reconstruction 3D de visages dans un système de stéréovision binoculaire basée sur les propriétés du visage."
- [31] Christodoulou, Lakis. "Overview: 3D Stereo Vision Camera-sensors-systems, Advancements, and Technologies."
- [32] Do, Yongtae. "Application of neural networks for stereo-camera calibration." *IJCNN'99. International Joint Conference on Neural Networks. Proceedings (Cat. No. 99CH36339)*. Vol. 4. IEEE, 1999.
- [33] Olsen, Trine Ødegard. "Stereo vision using local methods for autonomous ferry."
- [34] Szczepański, Michal. *Online stereo camera calibration on embedded systems*. Diss. Clermont Auvergne, 2019.
- [35] Nozick, Vincent. "Multiple view image rectification." *2011 1st International Symposium on Access Spaces (ISAS)*. IEEE, 2011.
- [36] A-Lin H., Xue C., Ying G., Wen-Ju Y., Jie H, "Measurement of Safe Driving Distance Based on Stereo Vision", Proceedings of the 6th International Conference on Image and Graphics, 2011.
- [37] Candocia, F., Adjouadi, M., "A similarity measure for stereo feature matching", IEEE Transactions on Image Processing, Oct 1997.
- [S1] www.icube-avr.unista.fr/cours_rob_intro.pdf.
- [S2] <https://eureka.uqam.ca/wp-content/uploads/sites/4/2018/05/4-Robot.pdf>
- [S3] https://www.image-en-relief.org/stereo/images/documents/Principe_Stereo.pdf
- [S4] <https://arduino.blaisepascal.fr/capteur-de-distance-a-ultrasons/>
- [S5] <https://www.magdiblog.fr/gpio/gpio-telemetre-a-ultrason-srf02/>
- [S6] <https://www.microsonic.de/fr/support/capteurs-%C3%A0-ultrasons/principe.htm>

-
- [S7] <https://www.stemmer-imaging.com/fr-ch/produits/categorie/cameras-stereoscopiques-3d/>.
- [S8] <https://www.bullier-automation.fr/actualites/E08/2021/01/05/002263-ART479000189-telemetre-laser-a-balayage-principe-de-triangulation.html>
- [S9] <http://www.ac-grenoble.fr/college/jean-monnet.st-jorioz/techno/clg/old-html/Documents/les-capteurs-de-distance.htm>
- [S10] <https://jardinage.lemonde.fr/dossier-2135-telemetre-laser.html>
- [S11] <https://www.researchgate.net/publication/325861296>
- [S12] https://opto.ca/fr/health-library/vision-binoculaire?fbclid=IwAR1j1vSyId2HjP9f8EQD-B0ZpG2929yGbRw0LgA0KWvCO5IXXfWPjbJcq_U
- [S13] <http://p.jean2.pagesperso-orange.fr/vae/Groupes/visbnorm.pdf>
- [S14] <http://www.univ-oeb.dz/fsesnv/wp-content/uploads/2020/04/Chapitre-4-St%C3%A9r%C3%A9ovision.pdf>
- [S15] https://boofcv.org/index.php?title=Tutorial_Camera_Calibration
- [S16] <https://www.mathworks.com/help/vision/ug/stereo-camera-calibrator-app.html>
- [S17] <http://arabicprogrammer.com/article/59138318215/>