

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID DE TLEMCEM

DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE ET ELECTRONIQUE

MEMOIRE

Réalisé par

BENABED Imane & SAHRAOUI Mouhssin

Pour obtenir le diplôme de master

Domaine : sciences et technologies

Filière : génie industriel

Spécialité : ingénierie de production & management de l'ingénierie

Intitulé

Etude, conception et réalisation d'un scanner 3D

Devant le jury composé de:

Mr. BENEKROUF Mohammed	MC.B UABB Tlemcen	President
Mr. HASSAM AHMED	MC.B UABB Tlemcen	Examineur
Mr. HOUBAD Yamina	MA.A ESSA Tlemcen	Examineur
Mr. GUEZZEN Amine	MC.B UABB Tlemcen	Encadreur

Année universitaire : 2016-2017

DÉDICACE :

BIEN QUE CHAQUE PARTIE DU RAPPORT A PRIS BEAUCOUP D'INTENTION ET DE TRAVAIL, LA PAGE DÉDICACES RESTE PARTICULIÈRE PARCE QU'ELLE ME PERMET DE REMERCIER ET DE DÉDIER LE TRAVAIL EFFECTUÉ À DES GENS QU'ON AIME ET QU'ON RESPECTE.

POUR CELA JE DÉDIE CE MÉMOIRE À MA TRÈS CHÈRE MÈRE À LA FEMME LA PLUS BELLE DE MA VIE, À L'ANGE QUI A APPRIS SEULEMENT À AIMER QUI NE POURRAIT JAMAIS MAIS JAMAIS NE PERDRE CETTE HABITUDE. JE PENSE TOUJOURS, À TOI, M MÈRE, ET J'APPRÉCIE ÉNORMÉMENT TON SACRIFICE. À LA MÈRE, L'OMBRE DE CLÉMENCE DE DIEU SUR LA TERRE ET POUR L'HUMANITÉ.

À MON PÈRE QUI M'A TOUJOURS GUIDÉ ET SOUTENUE

À MES FRÈRES POUR LEUR SOUTIEN MORAL

À TOUS MES AMIS LESQUELLES J'AI PARTAGÉ LES MEILLEURS MOMENTS DE MA VIE SPÉCIALEMENT MON ÉQUIPE DE FOOTBALL.

À TOUS CEUX QUI M'ONT AIDÉ DE PRÈS OU DE LOIN.

BENABED IMANE

*À mes parents, à mes frères (Faiza, Ahlem, Raouf,
Moncife, Haithem),*

*À mes amis (Lotfi, Nassime, Yassine, Lamo,
Sabrina, Khawla, Khalel, Yassine-youcef, Fichem,
Badis, Fares, Salim, Ahmed, Raïd, Akram, Souhîl et
tous mes cousin,) à tous mes collègues (Imane, Yahia, Mehdi
, Bakir, Fares, Houssam, Ahmed et Adlen)*

*À toute ma famille et ma grand-mère et mon Grand-
père,*

À tous ceux qui me sont chers

Mouhssin

Remerciement :

Avant d'entrer dans le vif du sujet, nous tenons à adresser notre remerciements à toutes les personnes qui, de près comme de loin, ont été acteurs au cours de la réalisation de ce projet ou au cours des dernières années.

Nos remerciements vont tout spécialement à nos familles, qui ont sus nous supporter et encourager tout au long de notre vie, ainsi que pour leur aide inestimable, leur patience et leur soutien indéfectible.

Nous remercions aussi Mr GUEZZEN Amine, encadrant et correcteur de ce mémoire, pour nous avoir proposé ce sujet qui s'est avéré tant prenant que passionnant. Nous le remercions pour son suivi et ses interventions constructives

Nous tenons aussi, à remercier tous les enseignants qui ont contribué de près ou de loin à notre formation.

Enfin, nous remercions tous nos Ami(e)s, Pour leur sincère amitié et confiance, et à qui je dois ma reconnaissance et mon attachement.

Sommaire :

Dédicace

Remerciement

Sommaire

Introduction générale1

I. Chapitre 01 : notion générale

I.1. Introduction2

I.2. Méthodes d'acquisition4

I.2.1. Contact4

I.2.2. Triangulation passive4

I.2.2.1. Vision stéréoscopique ou stéréovision4

I.2.2.2. Photogrammétrie6

I.2.2.3. Vision catadioptrique6

I.2.3. Triangulation active8

I.2.3.1. Lumière structurée : point9

I.2.3.2. Lumière structurée : ligne9

I.2.3.3. Lumière structurée : motif binaire ou couleur10

I.2.3.4. Triangulation laser dans l'infrarouge11

I.2.3.4. Temps de vol (time of Flight : TOF)11

I.2.4. Détection de pulse12

I.2.4.1. Modulation en amplitude13

I.2.4.2. Temps de Vol TC/SPC13

I.3. Méthodologie pour la numérisation 3D16

I.3.1. Représentation des données 3D16

I.3.1.1. Nuage de points16

I.3.1.2. Maillage17

I.3.1.3. Surfaces17

I.3.2. Application possibles et dimensions de l'objet18

I.3.2.1. Analyse	19
I.3.2.2. Visualisation	20
I.3.2.3. Duplication	21
I.3.3. Choix du scanner et protocoles d'acquisitions	21
I.3.3.1. Capteurs point ou ligne sur MMT.....	22
I.3.3.2. Scanners à acquisition par vue	23
I.3.3.3. Scanner laser ligne sur bras poly articulé ou tracker optique	24
I.4. Kinect	24
I.5. Conclusion	25

II. Chapitre 02 : Conception de scanner 3D

II.1. Introduction	26
II.2. Définition de la CAO	26
II.2.1. Le modeler géométrique	26
II.2.2. L'outil de visualisation	26
II.2.3. Un certain nombre d'applications	26
II.2.4. Un contrôleur	26
II.3. Conception des pièces	27
II.4. Assemblage	27
II.5. Mise en plan	27
II.6. Outil CAO utilisé.....	28
II.7. Introduction sur CATIA v5	28
II.8. Définition de CATIA v5	28
II.9. Présentation des ateliers	29
II.10. Les étapes de conception	30
II.10.1. Conception de disque de rotation	30
II.10.2. Conception de Kinect	31
II.10.3. Conception de cylindre de support	32
II.10.4. Conception de cylindre de support mobile	33
II.10.5. Conception de cylindre de support de Kinect	34

II.10.6. Conception de moteur pas à pas	35
II.10.7. Conception de support	36
II.10.8. Conception de support de moteur	37
II.10.9. Conception de table	38
II.10.10. Conception de support de Kinect	39
II.10.11. Conception de support de fixation de Kinect	40
II.10.12. Conception de pièce de fixation de Kinect	41
II.10.13. Conception de pièce de fixation de support de Kinect	42
II.10.14. Conception de support rotatif	43
II.10.15. Conception de support de disque rotatif	44
II.10.16. Assemblage de scanner 3D.....	45
II.11. Conclusion	47

III. Chapitre 03 : réalisation

III.1. Introduction	48
III.2. Matériels	48
III.2.1. Arduino	49
III.2.1.1. Description de la carte Arduino mega	49
III.2.1.2. Alimentation	50
III.2.1.3. Mémoire	51
III.2.2. Motor shield v1	51
III.2.2.1. caractéristiques	52
III.2.3. Moteur pas à pas	52
III.2.3.1. Pourquoi des moteurs pas à pas	52
- Avantage	52
- Inconvénients	52
III.2.3.2. Les différents types de moteur pas à pas	53
- A réluctance variable	53
- A aimants permanents	53

- Les hybrides	53
III.2.4.1.1. Capteurs	54
III.2.3.3. Les moteur pas à pas Unipolaires et bipolaire	54
III.2.3.4. Comparaison des types de moteur pas à pas	55
2.4. Kinect Xbox 360	55
III.2.4.1. Caractéristique	55
III.2.4.1.2. Champs de vision	55
III.2.4.1.3. Flux de donnée	55
III.2.4.1.4. Système de reconnaissance physique	56
III.2.4.1.5. Audio	56
III.2.4.2. Les différents capteurs de la Kinect	56
III.2.4.2.1. Le capteur RGB	56
III.2.4.2.2. Capteur et émetteur infrarouge	58
III.2.4.3. Reconstruction 3D	59
III.2.4.4. Principe de mesure de la profondeur par triangulation	59
III.2.4.5. Modèle mathématique et explications	60
III.2.4.6. Intégration de la profondeur et de la couleur	61
III.3. Logiciel utilisé	62
III.3.1. Logiciel Arduino1.82	62
III.3.2. KinectSDK-v1.....	62
III.3.3. ReconstructMe	63
III.4. La mise en mouvement du scanner	63
III.5. Programme	66
III.6. Résultats	68
III.7. Conclusion	70
IV. Chapitre 04 : acquisition et traitement d'image	
IV.1.introduction	71
IV.2. Post de traitement	71
IV.2.1. Filtrage du bruit	72

IV.2.2. Triangulation	74
IV.2.3. Segmentation et nettoyage	74
IV.2.4. Recalage manuel/ automatique et fusion des vues	75
IV.2.5. Bouchage des trous	77
IV.2.6. Gestion de la texture	78
IV.3. Conclusion	79
Conclusion générale	80
Liste des figures	81
Liste des tableaux	84
Abréviation	85
Références bibliographiques	86
Résumé	88



Introduction général

Introduction générale :

Dans le domaine de la reconstruction d'objets tridimensionnels et de la métrologie, les systèmes basés sur la vision deviennent de plus en plus utilisés, y compris pour des applications industrielles.

Les systèmes de vision peuvent être divisés en deux catégories : vision passive ou vision active. Les systèmes passifs utilisent plusieurs capteurs de type caméra pour acquérir la scène dans laquelle se trouvent le ou les objets à mesurer. La méthode utilisée, pour remonter aux informations de position et de profondeur, repose sur l'appariement des points entre images afin de reconstruire par triangulation leur position en 3D. La problématique de telles méthodologies se trouve dans la détection des points caractéristiques et dans leur appariement. Les systèmes actifs consistent à remplacer l'une des caméras d'un système passif par un dispositif qui émet une lumière structurée en direction de la scène. Cette lumière crée une sorte de texture sur la surface de la scène que la caméra peut acquérir. Si l'on suppose que ce système est calibré géométriquement, la position et la profondeur des points de la scène, illuminés par le motif projeté, peuvent être calculées. De nombreux types de lumière structurée ont déjà été étudiés. Dans ce contexte, ce travail a pour but de faire la conception, l'étude et la fabrication d'un scanner 3D.

Cette étude comprend quatre chapitres :

Le premier chapitre est consacré pour la présentation des notions générales sur les scanners 3D, les différentes méthodes d'acquisition d'image, ainsi que la méthodologie de numérisation 3D, puis les applications possibles sur l'image, finalement on va présenter le choix de scanner et leur protocole d'acquisition.

Dans le deuxième chapitre on traite la partie CAO, une petite présentation sur le logiciel CATIA v5, après on va présenter la conception de différentes pièces de scanner 3D ainsi que la mise en plan et finalement la conception finale de scanner.

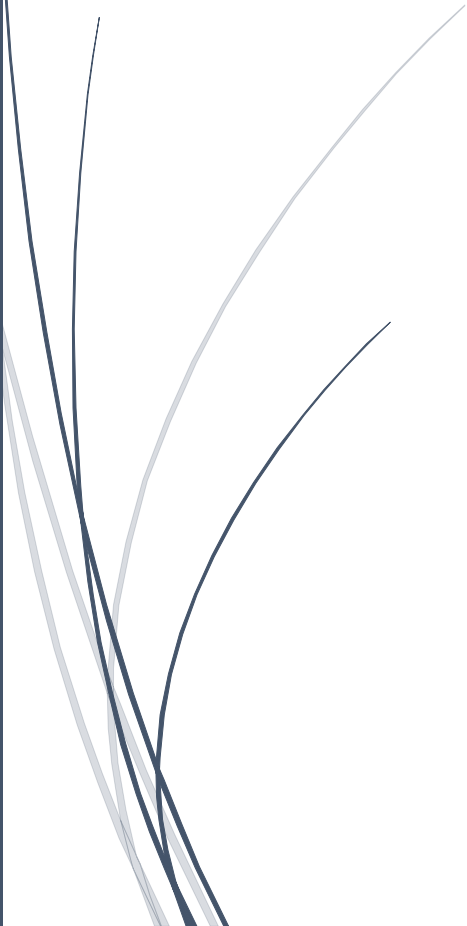
Dans le troisième chapitre nous allons présenter les différentes étapes de réalisation de scanner et les différentes pièces et programmes utilisés dans la réalisation.

Le quatrième chapitre est consacré pour le traitement d'image acquise, dans ce chapitre on va présenter les différentes étapes de traitement.



Chapitre I

Notions générale



I.1. Introduction

Durant ces vingt dernières années, la vision tridimensionnelle a pris une place de plus en plus importante dans différents domaines : l'industrie, l'archéologie, la mode, la médecine, le sport, ou encore les jeux vidéo. Les modèles 3D peuvent être conçus dans des logiciels ou créés à partir d'objets réels dont la forme a été acquise grâce à des scanners tridimensionnels. Ces systèmes permettent l'acquisition sans contact de la géométrie 3D d'un objet réel, ce qui permet de réaliser des mesures de caractéristiques de l'objet. De nos jours, de nombreux systèmes commerciaux sont disponibles, utilisant diverses technologies comme la triangulation active ou la photogrammétrie. Pour tous ces systèmes, au même titre qu'il est nécessaire de prendre plusieurs photographies pour visualiser complètement un objet, plusieurs prises de vue suivant des points de vue différents sont nécessaires, afin d'acquérir la forme complète d'un objet. Ces acquisitions doivent ensuite être segmentées et recalées entre elles dans le même référentiel, afin d'obtenir un modèle 3D complet.

Le développement de systèmes d'acquisition de données 3D a fortement progressé. Ces systèmes de mesure sont apparus dans les laboratoires dans les années 80 et s'implantent de plus en plus rapidement de nos jours dans de nombreux secteurs (l'industrie, la conservation du patrimoine, la biologie...).

Les figures montrent un classement possible de ces différentes méthodes d'acquisition.

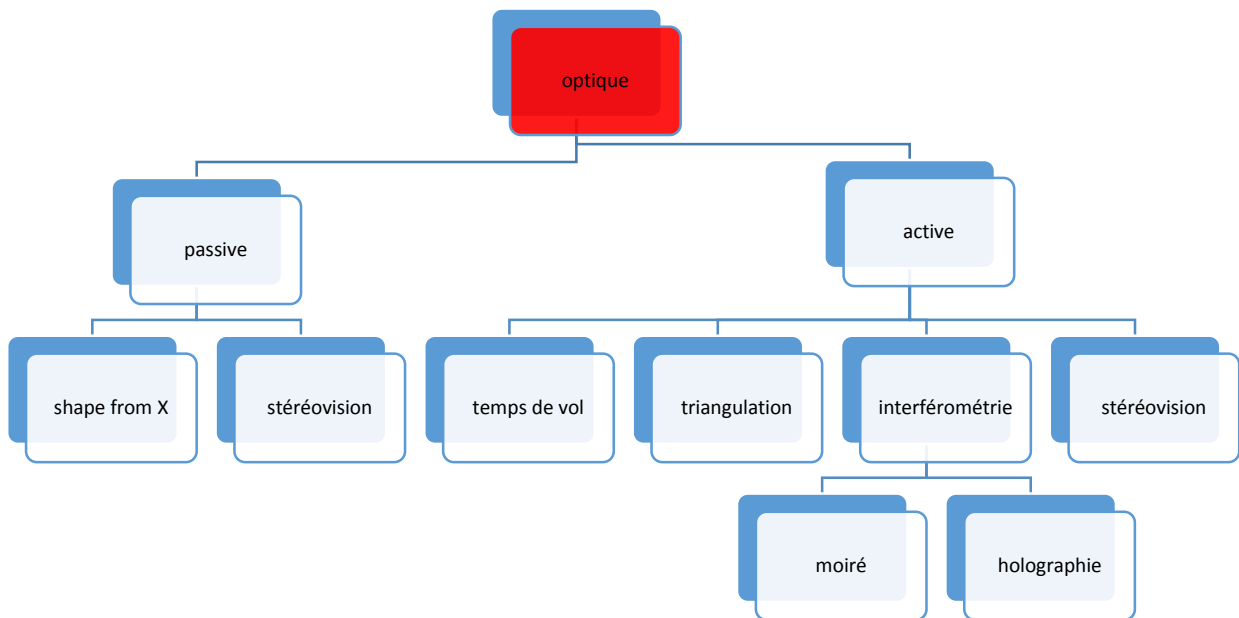
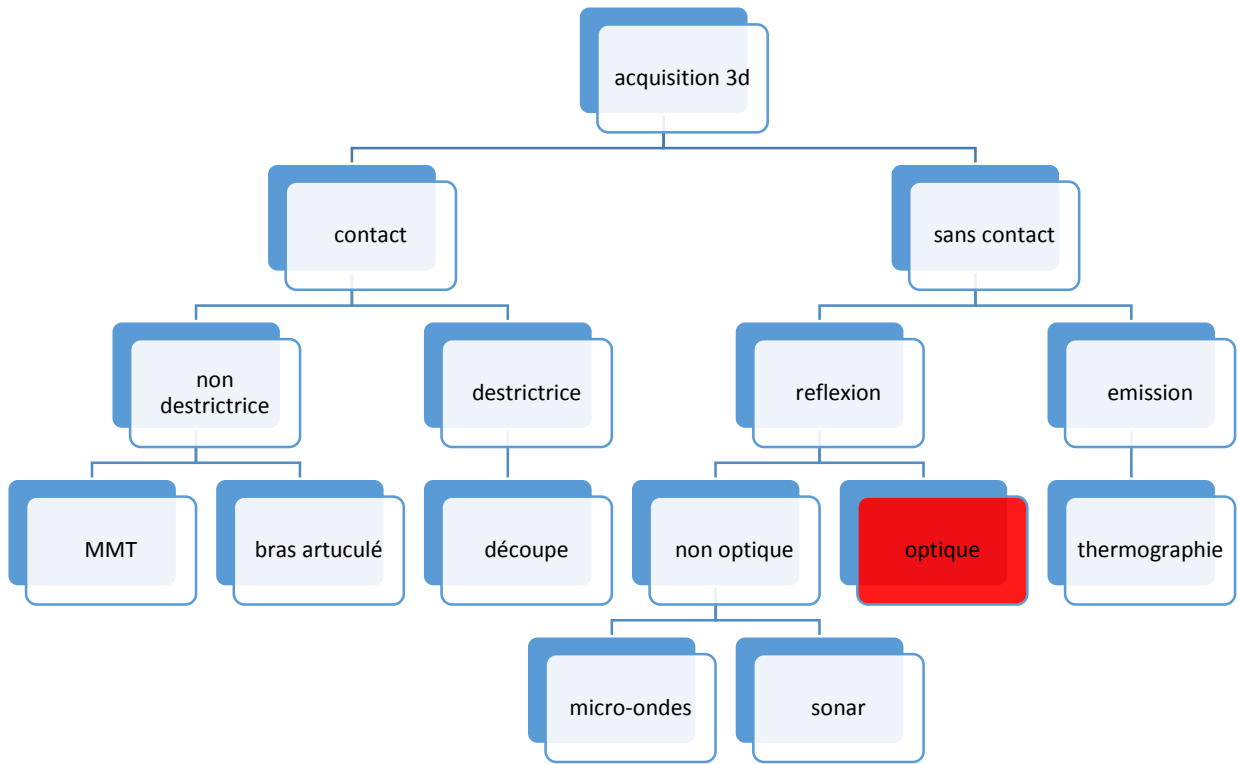


Figure 1.1 : les différentes méthodes d'acquisition.

I.2. Méthodes d'acquisition :

On va présenter les méthodes d'acquisition optiques, la triangulation passive et active, le temps de vol et certaines méthodes de "Shape from X". Nous présenterons aussi la mesure avec contact (palpage).

I.2.1. Contact (Palpeur) :

La technique de mesure 3D la plus précise est l'acquisition au moyen d'un palpeur. Il existe plusieurs types de palpeurs (palpeur à déclenchement, palpeur résistif . . .) mais la procédure d'utilisation générale reste la même : un signal de déclenchement est généré lors du contact de la bille du palpeur avec l'objet et ce signal provoque la mémorisation de la position de la machine. Cette technique permet d'atteindre une précision de l'ordre du micron, mais celle-ci dépend fortement des performances du système de positionnement utilisé. L'inconvénient majeur est la vitesse d'acquisition, qui est de l'ordre de quelques points par seconde. La mesure par palpeur est utilisée dans l'industrie principalement, pour le contrôle et la rétro conception de pièces mécaniques [1].

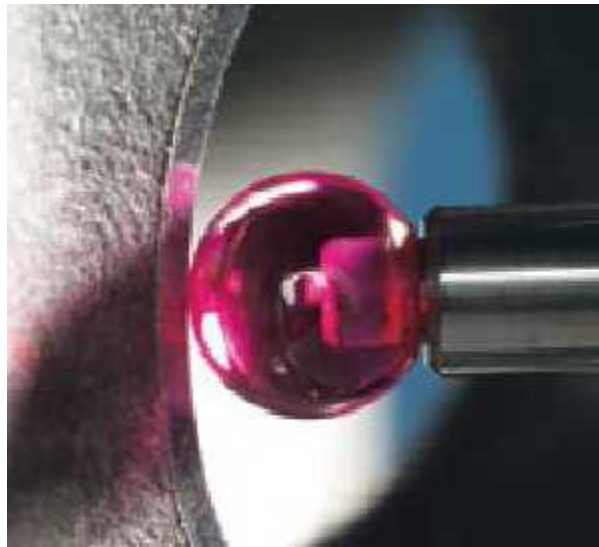


Figure 1.2 : Détail d'un palpeur

I.2.2. Triangulation passive :

La triangulation passive ne nécessite aucune source de lumière additionnelle pour effectuer les mesures. Elle utilise uniquement un ou plusieurs systèmes d'acquisition d'images (caméra, appareil photographique). La méthode la plus utilisée est la stéréovision passive [1].

I.2.2.1. Vision stéréoscopique ou stéréovision :

La stéréovision interprète les disparités entre deux ou plusieurs images d'une scène et calcule la profondeur de la scène par triangulation. Les caméras sont habituellement représentées par

un modèle sténopé. Le processus de formation de l'image est alors une transformation homogène : il s'agit d'une projection à travers le centre optique. Les deux caméras doivent d'abord être calibrées, les paramètres intrinsèques (focale, ouverture, etc.) et extrinsèques (pose) doivent être connus. La stéréovision atteint une précision suffisante pour être utilisée dans des applications comme la photogrammétrie ou la reconstruction du relief à partir d'images aériennes ou satellitaires. La précision de mesure augmente avec la distance de la base stéréoscopique (distance entre les deux caméras), mais dans le même temps, la surface visible commune aux deux caméras diminue, créant des trous dans la surface numérisée. Il faut donc choisir un compromis entre précision et visibilité.

La figure illustre le principe de la stéréovision. Tout point P d'une surface visible depuis les deux caméras se projette en P_1 sur le plan image \mathcal{P}_1 et en P_2 sur le plan image \mathcal{P}_2 . Inversement, connaissant deux points en correspondance, $P_1 \in \mathcal{P}_1$ et $P_2 \in \mathcal{P}_2$, ainsi que les centres optiques O_1 de la caméra 1 et O_2 de la caméra 2, les coordonnées du point P sont données par l'intersection de (O_1P_1) et (O_2P_2) [1].

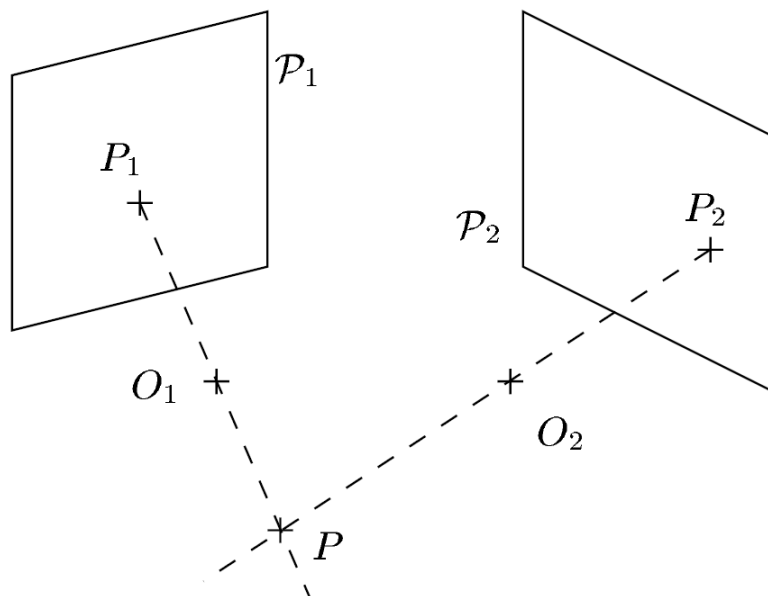


Figure 1.3 : Principe de la stéréovision

La projection d'éclairage texturé permet de faciliter la mise en correspondance des points. Il s'agit de projeter sur la scène un motif d'éclairage présentant des zones aléatoires d'intensités lumineuses différentes. Bien que l'éclairage structuré joue un rôle important dans la reconstruction (facilite la mise en correspondance), il ne participe pas directement à la mesure

de l'information tridimensionnelle. C'est la raison pour laquelle cette technique reste classée parmi les méthodes de triangulation passive [2].

I.2.2.2. Photogrammétrie

La photogrammétrie est une application particulière de la stéréovision. L'utilisation de règles et de mires calibrées dans le champ de vue des caméras permet de reconstruire l'objet en relief tout en contrôlant ses dimensions. Cette technique est particulièrement utilisée dans le milieu de la muséologie et de la conservation du patrimoine, dans l'architecture ainsi qu'en cartographie. En plus de l'acquisition de données 3D, cette technique peut permettre d'acquérir les informations de texture de l'objet. En muséologie, la photogrammétrie est souvent couplée à la triangulation laser afin de tirer avantages des deux technologies [3].



Figure 1.4 : Exemple de photogrammétrie

I.2.2.3. Vision catadioptrique

Depuis une vingtaine d'années sont apparus sur le marché des systèmes basés sur la combinaison d'une caméra classique et d'un miroir de forme particulière (conique, parabolique, hyperbolique). Ces systèmes ont rendu possible l'acquisition, en une prise de vue, de scènes panoramiques complètes (360°) à la fréquence vidéo (25 images/sec), et sont appelés "caméras catadioptriques". L'utilisation de ces capteurs omnidirectionnels implique une modélisation puis un étalonnage précis. Cette étape est d'autant plus délicate qu'aux défauts classiques des caméras (aberrations des lentilles, diffractions, irrégularité de la rétine) viennent s'ajouter le non régularité de la courbure de la plupart des miroirs et le défaut d'alignement miroir/caméra.

A partir d'au moins deux images panoramiques obtenues par un tel système, une reconstruction 3D est possible. La figure montre une même scène acquise avec un système temps-de-vol et reconstruite à partir de deux photographies catadioptriques. Seuls les murs et les fenêtres sont reconstruits, mais avec un temps d'acquisition beaucoup plus faible (quelques secondes contre plusieurs minutes). Cette reconstruction peut être effectuée grâce à la mise en correspondance de points dans les différentes images. La difficulté provient de la déformation de l'image due à la forme du miroir [4].

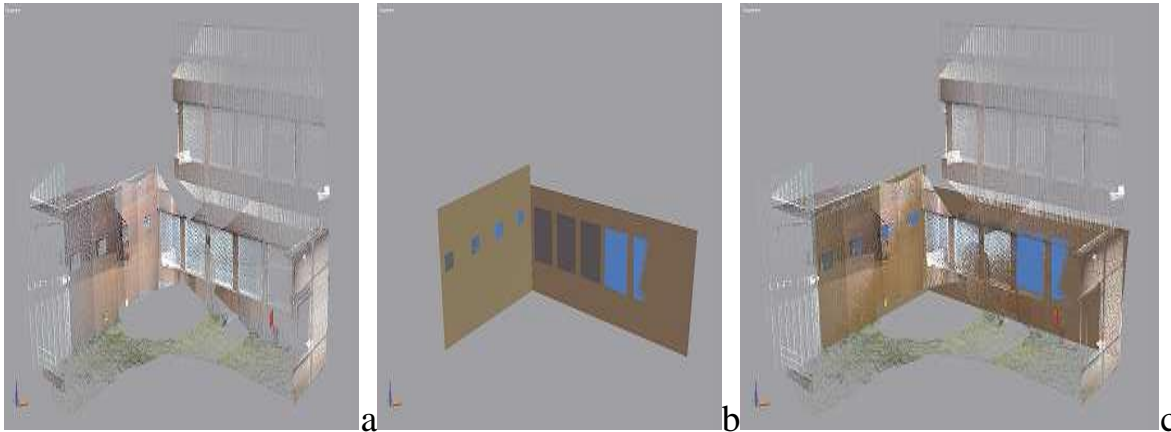


Figure 1.5 : Reconstruction 3D à partir d'images catadioptriques : (a) scène numérisée par un scanner temps de vol ; (b) scène reconstruite par vision catadioptrique ; (c) comparaison des reconstructions 3D

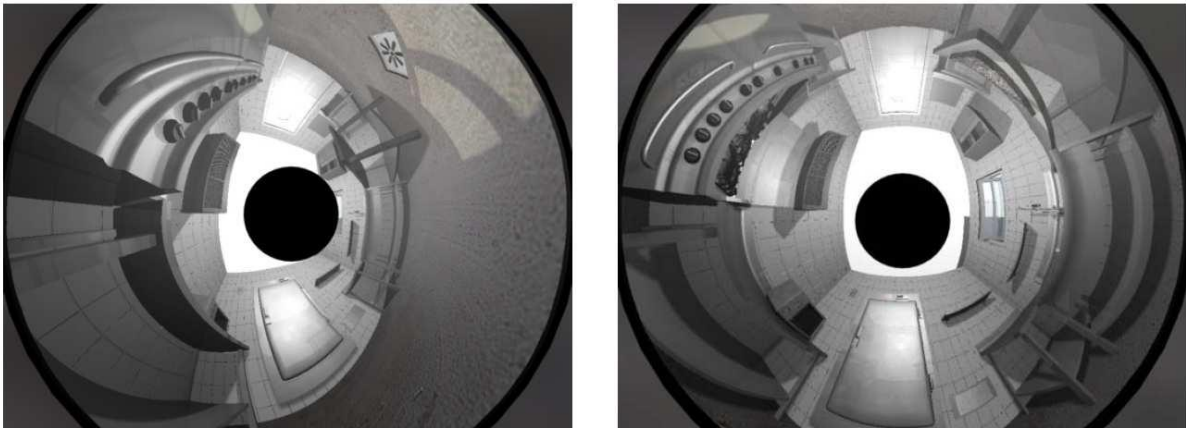


Figure 1.6 : Simulation d'une pièce vue par vision catadioptrique

La vision catadioptrique est utilisée pour la vision robotique (auto-localisation) et la reconstruction 3D à partir d'images aériennes.

I.2.3. Triangulation active

Comme il a dit Forest.j [5] la technique de triangulation active se distingue de la technique passive dans la mesure où un éclairage structuré participe à la reconstruction tridimensionnelle de l'objet. C'est la méthode la plus utilisée par les sociétés de prestation de services en numérisation 3D.

Des motifs connus sont projetés sur l'objet et permettent de remonter à la profondeur par trigonométrie. Dans l'exemple donné à la figure, le centre optique du capteur est noté C , le centre de l'image O , et la focale f . Les orientations du projecteur et du capteur sont connues, ainsi que la distance D entre le projecteur et le capteur.

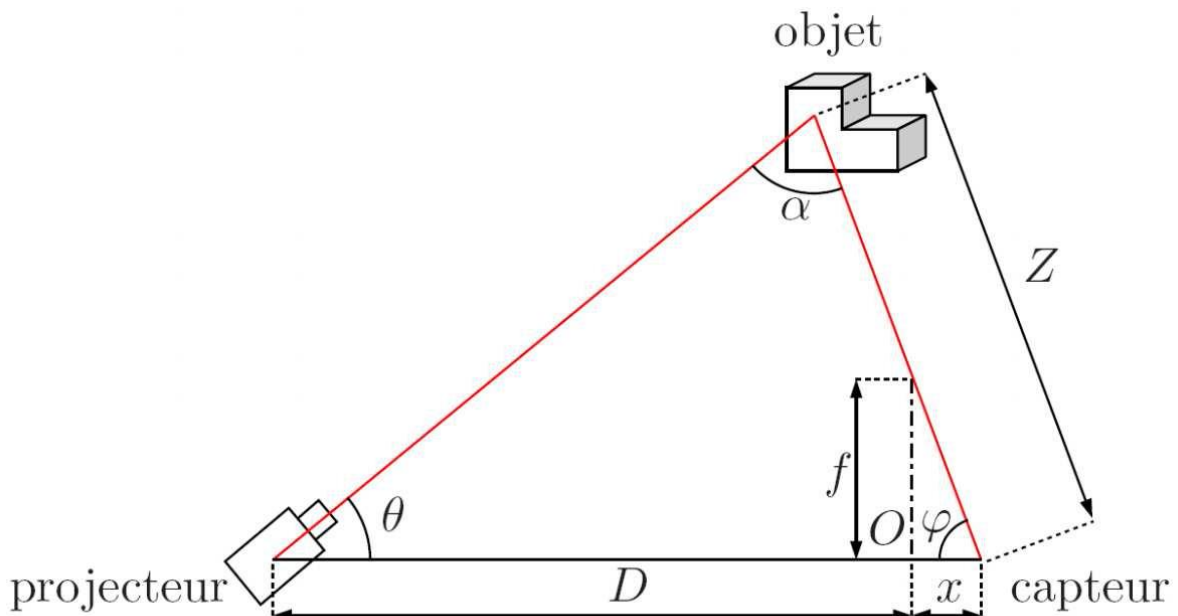


Figure 1.7 : Principe de la triangulation active

Les diverses méthodes de triangulation active peuvent être classées suivant le type du motif lumineux projeté : point, ligne ou motif [1].

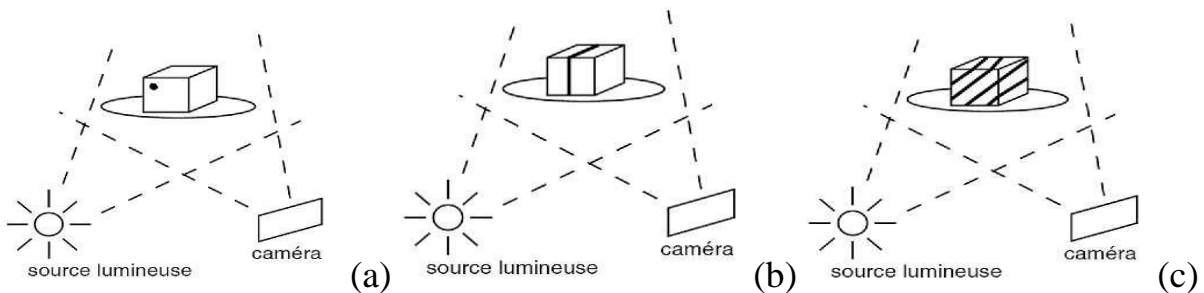


Figure 1.8 : Différents motifs lumineux en triangulation active : (a) point, (b) ligne, (c) motif

I.2.3.1. Lumière structurée : point

Un scanner laser point nécessite une source laser et doit être mobile afin de couvrir entièrement l'objet. Les scanners laser point offrent de nombreux avantages techniques. La taille du capteur peut être optimisée pour un volume de mesure donné, ce qui permet une meilleure résolution et précision que les scanners lignes. La puissance du laser peut être optimisée en fonction de la surface étudiée, afin d'augmenter le rapport signal sur bruit. Ces systèmes sont fixes ou montés sur des MMT et ne sont pas utilisés pour la numérisation complète d'un objet, mais pour des prises de cotes ponctuelles ou des mesures de déplacement. Deux exemples de têtes laser point sont donnés à la figure 1.9 [1].



Figure 1.9 : Têtes laser point de μ Epsilon (a) et de Nextec (WizProbe) (b)

I.2.3.2. Lumière structurée : ligne

La projection d'une ligne laser est la technologie la plus répandue. Actuellement, la ligne laser est obtenue à partir d'une source laser orientée vers un système divergent. Quelques systèmes utilisent un laser point et un miroir rotatif pour générer la ligne. Le système doit pouvoir se déplacer afin de couvrir l'ensemble de la géométrie de l'objet. La ligne étant acquise en une seule image, ces systèmes sont plus rapides que les scanners laser point. La longueur de la ligne et le nombre de points sur la ligne varient en fonction du modèle du capteur.

On peut remarquer trois générations de scanners ligne. Ces trois évolutions se différencient par leur vitesse d'acquisition, mais surtout par leur capacité à s'adapter à des objets de plus en plus réfléchissants. En effet, un grand nombre des prestations effectuées en milieu industriel concernent des pièces usinées, fortement réfléchissantes. Les efforts des développeurs de systèmes d'acquisitions laser se sont donc concentrés sur ce verrou technologique.

Ces capteurs permettent de numériser un plus grand nombre de types de surfaces. La numérisation s'en trouve grandement simplifiée pour l'opérateur, qui n'a plus aucun réglage manuel à effectuer [1].

I.2.3.3. Lumière structurée : motif binaire ou couleur

Cette technologie utilise la projection de points, de lignes parallèles, de grilles ou de motifs codés. A la différence de la triangulation laser ligne, le motif projeté recouvre entièrement une face de l'objet, ce qui permet l'acquisition immédiate d'une surface. Il en résulte une plus grande rapidité d'acquisition. Afin d'appliquer la triangulation sur chacun des motifs, la première étape consiste en l'identification de chacune des raies projetées. Cette étape peut entraîner des difficultés lorsque les motifs projetés présentent des discontinuités. Dans le cas de la projection d'un motif couleur, la texture de l'objet peut être acquise en étudiant la différence de teintes entre la couleur émise et la couleur observée [1.1].

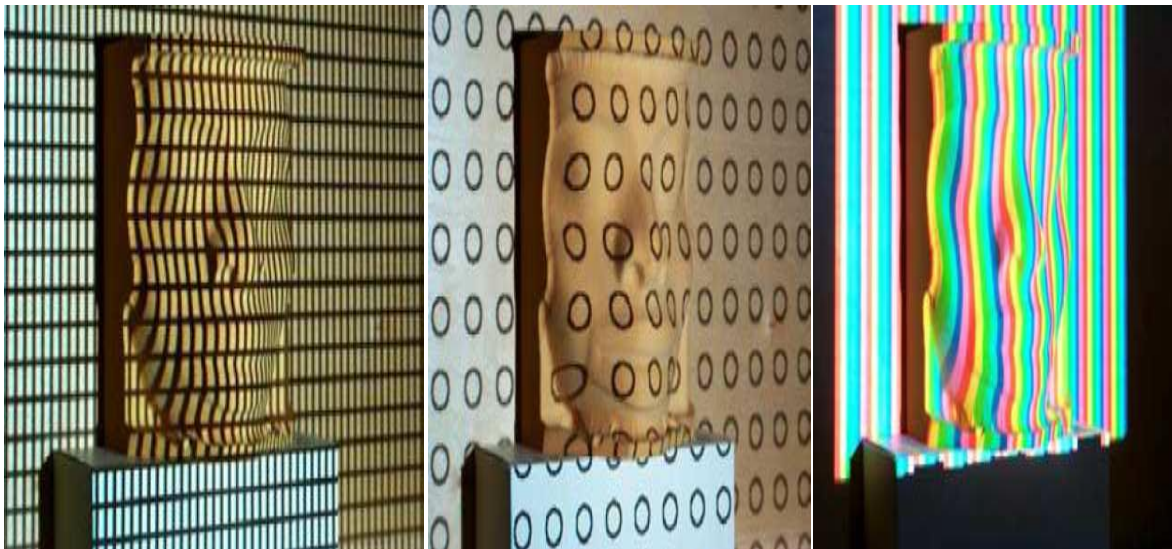


Figure 1.10 : Exemple de motifs : grille (a), cercles (b), couleur (c)

Deux exemples de systèmes commerciaux sont donnés à la figure 1.11. Ces systèmes sont utilisés en industrie



Figure 1.11 : Scanners AtosIII de Gom (a) et Comet5 de Steinbichler (b)

I.2.3.4. Triangulation laser dans l'infrarouge

Certaines études en cours utilisent la triangulation laser ligne dans l'infrarouge. La pièce est chauffée par une impulsion laser haute puissance et une caméra infrarouge observe la ligne de chaleur sur l'objet. Cette méthode est particulièrement intéressante pour les objets transparents, où la triangulation laser classique est impossible.

Toutefois, plusieurs problèmes sont encore à étudier (temps de refroidissement entre chaque impulsion, diffusion de la chaleur dans certains matériaux . . .) [6].

I.2.4. Temps de vol (Time Of Flight : TOF)

Pour les grandes structures, comme les bâtiments, les scanners temps de vol sont les systèmes d'acquisition les plus adaptés. Ces scanners ont une portée pouvant aller jusqu'à 300 mètres et ont une précision de l'ordre du millimètre, suivant la distance de travail et la technologie utilisée. Les coordonnées d'un point 3D (X, Y, Z) dépendent de trois données : l'angle horizontal, l'angle vertical et la distance entre le scanner et l'objet. Les valeurs des angles sont données par l'orientation de la source laser (pilotage motorisé).

Ces systèmes peuvent également être utilisés dans l'industrie, pour le contrôle de pièces de grandes dimensions. Ces pièces mesurent environ 300 mètres cube et sont portées à plusieurs centaines de degrés (entre 700 et 1200°).

Le système permet une caractérisation géométrique des pièces avec une précision inférieure à vingt millimètres.

Le calcul de la distance peut être effectuée à l'aide de deux technologies différentes : la détection de pulse et le décalage de phase [7].

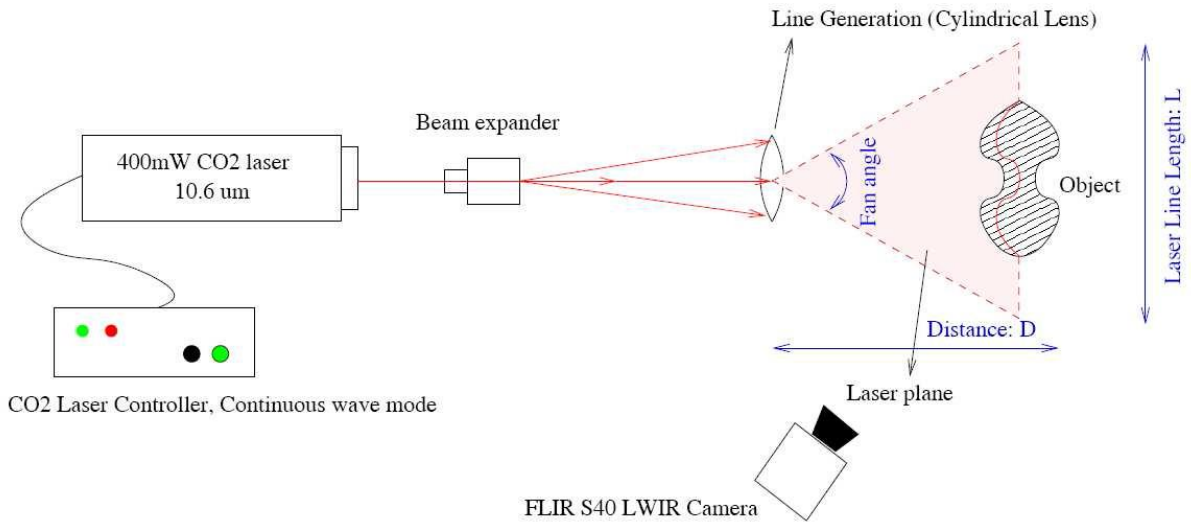


Figure 1.12 : Système mis en place pour l'acquisition 3D dans l'infrarouge

I.2.4.1. Détection de pulse

Cette technologie consiste à envoyer une impulsion laser sur l'objet. La distance se déduit directement du temps d'aller-retour. La portée maximale est de l'ordre de 300 mètres pour une vitesse d'acquisition maximale d'environ 50 000 points par seconde. Les principaux domaines d'application sont l'architecture et l'archéologie [1].

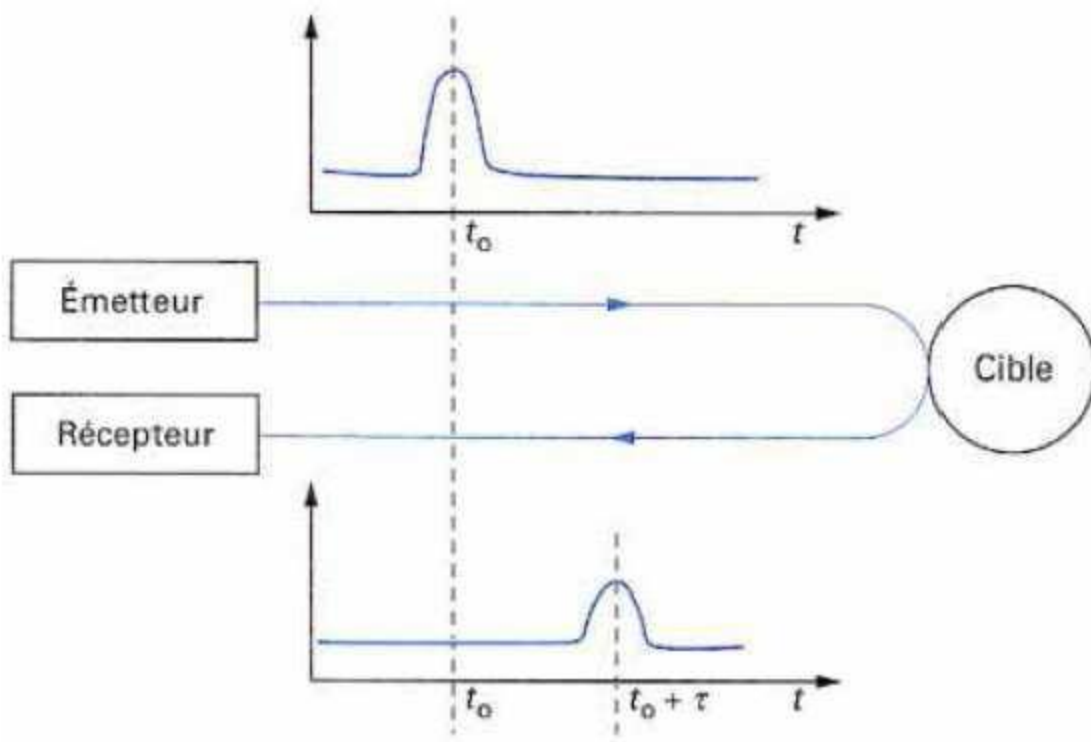


Figure 1.13 : Temps de vol à détection de pulse

I.2.4.2. Modulation en amplitude

Au lieu d'envoyer une impulsion brève, l'onde est modulée en amplitude. La différence de phase $\Delta\Phi$ entre le signal transmis et le signal reçu est alors mesurée.

Cette différence de phase n'est déterminée que modulo 2π . La distance ne peut donc être calculée que modulo un intervalle d'ambiguïté correspondant à la longueur d'onde du signal émis. Pour s'affranchir de cette restriction, plusieurs méthodes ont été développées, comme par exemple la combinaison de plusieurs fréquences de modulation. La distance maximale des systèmes actuels est inférieure à 100mètres pour une vitesse d'acquisition maximale d'environ 500000 points par seconde [1].

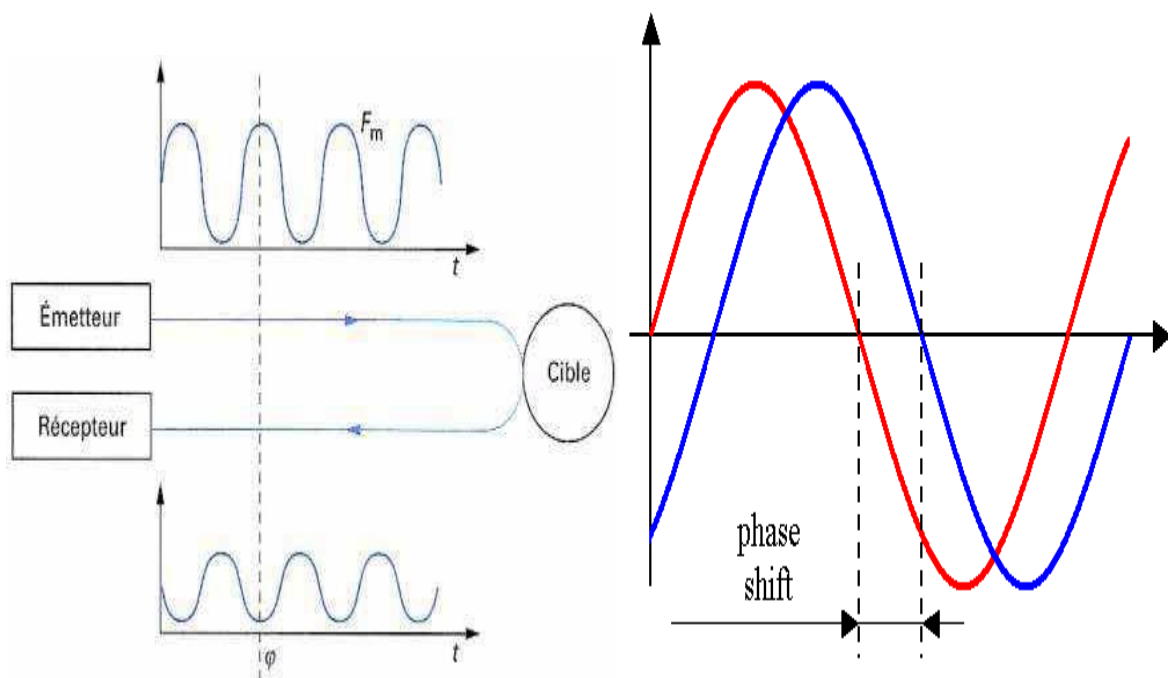


Figure 1.14 : Temps de vol à décalage de phase : (a-b) mesure du décalage ; (c) combinaison de plusieurs fréquences pour lever l'ambiguïté

I.2.4.3. Temps-de-vol TC/SPC (Time-Correlated Single Photon Counting)

Le TCSPC est une méthode d'échantillonnage statistique capable de détecter un photon, avec une résolution en temps inférieure à une picoseconde. Cette technique offre plusieurs avantages en comparaison au temps-de-vol classique :

- très grande précision temporelle (et donc en distance)
- très grande sensibilité de détection
- possibilité de travailler sur des objets d'échelles très différentes (de quelques centimètres à plusieurs mètres) [1].

Cette technologie est pour le moment très peu développée [8].

	Contact	Photogrammétrie	triangulation active	Temps de vol
Mode d'acquisition	Point par point /scanning	Vue	Point/ligne/vue	Point par point vue
Vitesse d'acquisition (maximale)	Quelque pts.s ⁻¹ /quelque centaines de pts.s ⁻¹	-	50 pts.s ⁻¹ / 80000 pts.s ⁻¹ / 500000 pts.s ⁻¹ .m ⁻²	500000 pts.s ⁻¹
Champ de vue	-	Dépend du capteur utilisé	-/ jusqu'à 150m / jusqu'à 2m X 2m	320°verticale/360°horizontale
Profondeur de champ	-	Dépend du capteur utilisé	Jusqu'à 75cm/jusqu'à 10cm/jusqu'à 2m	Jusqu'à 700m
Précision	Quelque µm	Dépend du capteur utilisé	Quelque µm/quelque dizaines de µm/quelque dizaines de µm	De l'ordre de millimètre
Résolution	-	Dépend de capteur utilisé	Quelque dizaines de µm	-
Avantage	Mesure très précise	Peu de matériel nécessaire	Polyvalence	Très grands objets
inconvénient	Manipulation indirecte	Mise en correspondance	Impossible sur les matériaux réfléchissants ou absorbants	Faible précision

Tableau 1.1: synthèses des systèmes d'acquisition (première partie)

	la reconstruction à partir des contours	la reconstruction à partir de la mesure du flou	la reconstruction à partir des informations de polarisation
Mode d'acquisition	vue	Vue	vue
Vitesse d'acquisition (maximale)	Dépend du capteur utilisé	400µm par seconde	Environ 7 secondes
Champ de vue	Dépend du capteur utilisé	Jusqu'à 25 mm ²	Dépend du capteur utilisé
Profondeur de champ	Dépend du capteur utilisé	Jusqu'à 22mm	Limitée, de l'ordre de 1.5 cm
Précision	Dépend du nombre d'acquisition	Quelque dizaines de nanomètres	Dépend de la complexité de la surface
Résolution	Dépend du capteur utilisé	Quelque dizaines de nanomètres	Dépend du capteur
Avantage	Peu de matériel nécessaire	Résolution très fine	Matériau parfaitement réfléchissant
Inconvénient	Surfaces concaves non numérisables	Dimensions de surface d'acquisition	Acquisition de surfaces parfaitement réfléchissantes uniquement

Tableau 1.2 : synthèses des systèmes d'acquisition (deuxième partie)

I.3. Méthodologie pour la numérisation 3D

Nous avons décrit le fonctionnement de différents systèmes d'acquisition. Mais l'acquisition des données 3D n'est qu'une étape de la numérisation 3D. En effet, celle-ci se décompose en trois étapes : la préparation à la numérisation, l'acquisition et les post-traitements. Ces étapes sont illustrées à la figure 1.15. [9].

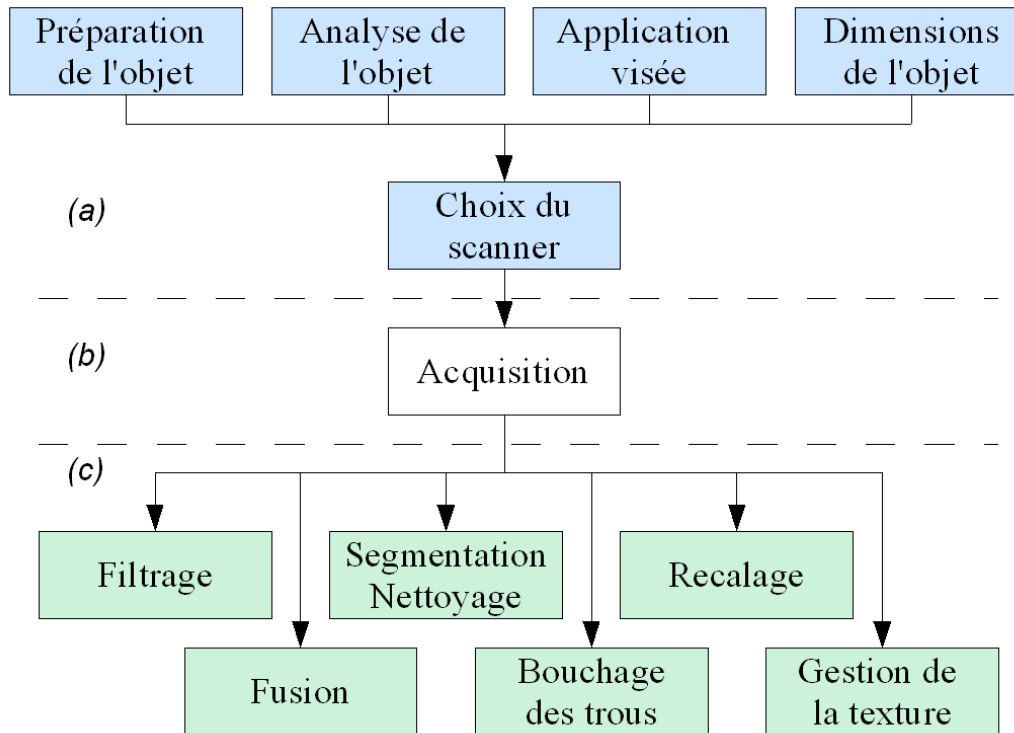


Figure 1.15 : Procédure générale de la numérisation 3D : (a) la préparation à la numérisation (en bleu), (b) l'acquisition et (c) les post-traitements (en vert)

Maintenant nous décrirons les trois types de représentations des données utilisés en numérisation 3D.

I.3.1. Représentation des données 3D

Dans cette première section, nous détaillons les différentes représentations tridimensionnelles utilisées en numérisation 3D. Nous distinguons trois familles principales de représentation : les nuages de points, les modèles maillés et les modèles surfaciques [1].

I.3.1.1. Nuage de points

Tous les scanners 3D effectuent l'acquisition d'un nuage de points. Chaque point est représenté au minimum par ses coordonnées X, Y et Z. Les composantes couleurs (R, G, B, A) peuvent être ajoutées [1].

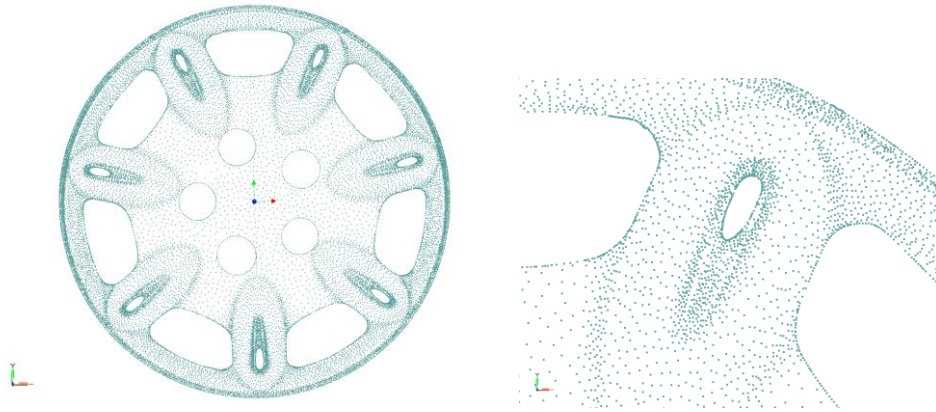


Figure 1.16 : Nuage de points

I.3.1.2. Maillage

Un maillage est généré par triangulation 2D ou 3D d'un nuage de points. Les maillages utilisés en numérisation 3D sont des maillages triangulaires où chaque facette est représentée par un triangle. Cette représentation est la plus courante en numérisation 3D.

Un modèle maillé est constitué de sommets, d'arêtes et de facettes. Les caractéristiques topologiques importantes sont les trous, le genre et le nombre de composantes connexes. Une arête n'appartenant qu'à une seule facette est appelée "bord" (ou "frontière").

Un polygone créé par des bords forme un trou de maillage. Le genre d'un objet correspond au nombre de trou topologique qu'il possède : le genre d'une sphère est 0, celui d'un tore est 1 ; La relation entre ces caractéristiques est donnée par l'équation d'Euler-Poincaré :

$$V - E + F - H = 2(C - G)$$

Où V est le nombre de sommets, E le nombre d'arêtes, F le nombre de faces, H le nombre de trou, C le nombre de composantes connexes et G la somme des genres des composantes.

Chaque facette d'un maillage possède une normale, correspondant au vecteur normal au plan supportant la facette. Ces normales permettent de définir l'intérieur et l'extérieur d'un objet et de réaliser un rendu.

Cette représentation facilite les algorithmes d'intersection, de collision, de rendu et permet une visualisation rapide. Elle permet également de représenter des objets aux formes complexes. Enfin, de nombreuses techniques permettent de générer des maillages à partir d'autres modèles géométriques (surfaces paramétriques, implicites . . .) [1].

I.3.1.3. Surfaces

Un modèle surfacique est représenté par un ensemble de surfaces paramétriques

– en conception (CAO - Conception Assistée par Ordinateur), afin de définir un nouveau produit,

– en rétro conception, à partir de points de référence ou de courbes génératrices obtenues par un palpeur (ou un laser point). Ils peuvent également être générés à partir d'un modèle maillé. Cette étape est cependant complexe et nécessite l'intervention d'un opérateur expérimenté. Ces modèles sont utilisés dans le milieu industriel, pour la duplication d'un objet ou pour le contrôle dimensionnel [1].

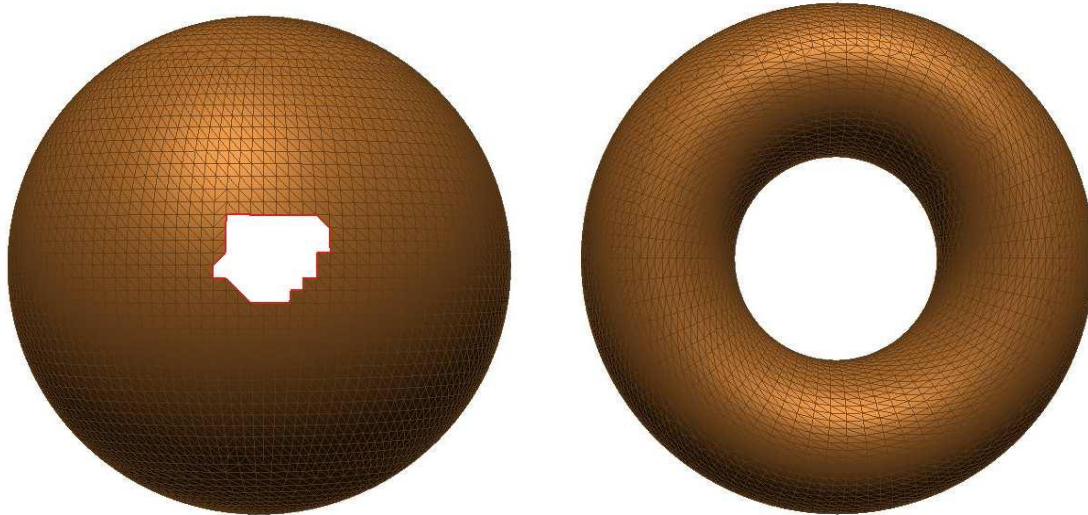


Figure 1.17 : Définition d'un trou : (a) trou de maillage ; (b) trou topologique



Figure 1.18 : Modèle maillé

I.3.2. Applications possibles et dimensions de l'objet

Avant de numériser un objet, l'application visée doit être prise en compte. On distingue généralement trois types d'applications :

- l'analyse : mesure dimensionnelle, reconnaissance de caractéristiques
- la visualisation : rendu local ou web, réalité augmentée

– la duplication : usinage, prototypage rapide, fonderie

Les dimensions de l'objet vont également jouer un rôle important dans le choix du système d'acquisition. La classification générale est la suivante :

– volume inférieur à 1cm^3 : dentaire, biologie, archéologie . . .

– volume compris entre 1cm^3 et 1m^3 : archéologie, automobile . . .

– volume supérieur à 1m^3 : architecture, automobile, nautisme, aéronautique . . .

En fonction de l'application visée et des dimensions de l'objet, le choix du scanner sera différent, de même que les post-traitements à appliquer aux données acquises [10].

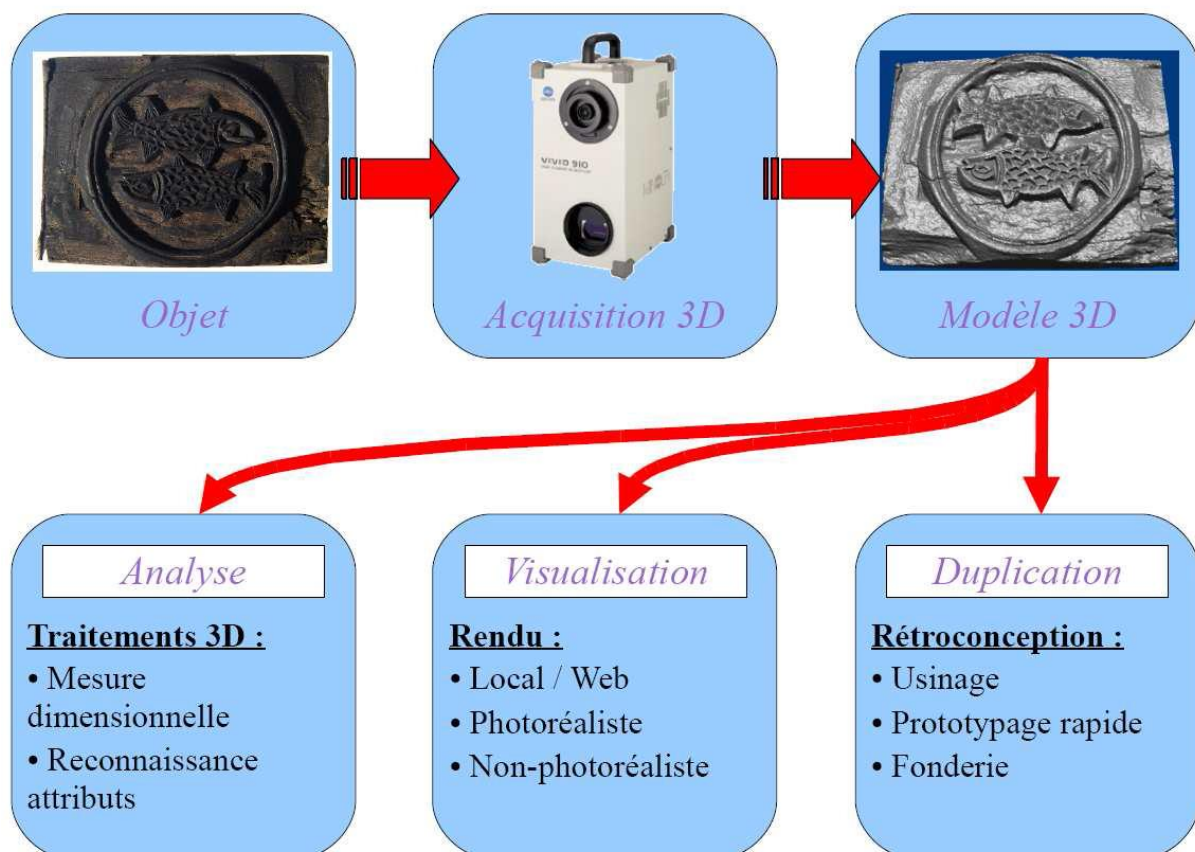


Figure 1.19 : Applications de la numérisation 3D

I.3.2.1. Analyse

L'analyse d'objets regroupe toutes les opérations de prises de mesures sur un modèle 3D, telles que des mesures dimensionnelles, des calculs de déviation. Ces calculs représentent actuellement la principale application des scanners 3D. Ces mesures requièrent un système de numérisation de grande précision, ainsi qu'un maillage dense, afin d'avoir des mesures représentatives de la forme de l'objet. La mesure peut se porter uniquement sur une partie de l'objet et donc ne nécessite pas une numérisation exhaustive dans tous les cas.

Les opérations d'analyse peuvent s'effectuer sur un nuage de points ou sur un modèle maillé.

Les systèmes d'acquisition palpeur ou laser point sur MMT sont utilisés pour les prises de côtes du fait de la mesure ponctuelle qu'ils effectuent. Pour l'analyse de surfaces ou d'objets de petites dimensions, Si une analyse complète de la pièce doit être réalisée, le système doit être équipé d'axes de rotation supplémentaires pour un recalage automatique des vues.

Lorsque le volume de l'objet est inférieur au mètre cube, les systèmes d'acquisition à triangulation laser ligne ainsi que les systèmes à acquisition par vue sont les plus appropriés. La principale source d'erreur provient alors du recalage entre chaque acquisition.

Pour les objets encore plus volumineux, les scanners à temps de vol peuvent également être employés. Le principal inconvénient de ces systèmes est leur faible précision. Les systèmes MMT de grandes dimensions peuvent également être utilisés, mais uniquement pour des prises de cotes ou de références, et non pour une numérisation complète. Les systèmes sur bras poly articulés ou à projection de franges sont également utilisables, mais avec un important risque de propagation d'erreur de recalage à chaque acquisition [1]

I.3.2.2. Visualisation

La visualisation est une application en forte croissance. De nombreuses entreprises mettent de plus en plus souvent en ligne des modèles 3D. Cette application est très utilisée dans le domaine archéologique car elle permet de manipuler et de diffuser les modèles 3D d'objets fragiles sans risque de détérioration. Elle est également mise en place dans le milieu industriel, où certaines Sociétés mettent en ligne les modèles CAO de leurs produits. Depuis quelques années, le milieu de la mode utilise la visualisation web en mettant en ligne des cabines d'essayage virtuelles. Ces modèles 3D doivent être texturés afin d'augmenter le réalisme. De plus, l'ajout de la texture permet de diminuer la densité du modèle, et donc de réduire la taille du fichier, favorisant ainsi la diffusion par internet. La précision des données n'est pas prioritaire pour ce type d'application, mais la numérisation doit être complète.

Pour les applications se rapportant à la visualisation, le choix des scanners est plus simple, la précision n'étant pas critique. Les scanners à triangulation laser ou à acquisition par vue peuvent être utilisés pour des objets de volume inférieur au mètre cube. D'un point de vue pratique, les scanners à privilégier sont les scanners à triangulation laser sur bras poly articulé, du fait de leur simplicité d'utilisation et de la rapidité d'acquisition. Il faut toutefois utiliser un appareil photographique pour associer l'information de texture. Les scanners temps-de-vol sont utilisés pour les objets plus volumineux.

Les têtes d'acquisition sur MMT sont ici peu pratiques, du fait de la faible vitesse d'acquisition et de la plus grande difficulté de mise en œuvre. Pour les mêmes raisons, les systèmes de "Depth from Focus" ne doivent être utilisés que pour les objets de très petites dimensions.

La principale difficulté est l'acquisition et l'intégration de la texture [1].

I.3.2.3. Duplication

Il existe plusieurs méthodes pour fabriquer un objet. Ces méthodes peuvent être classées en deux catégories :

- les méthodes par ajout de matière : l'impression 3D, la stéréo lithographie, le frittage de poudre . . .
- les méthodes par enlèvement de matière : l'usinage grande vitesse (UGV), l'électroérosion . . .

La première catégorie nécessite un modèle maillé comme modèle de référence. Celui-ci doit être fermé, c'est-à-dire sans trou dans le maillage. Il faut donc une numérisation complète de l'objet. La deuxième catégorie utilise un modèle surfacique, obtenue après conception ou rétro-conception.

La duplication d'objet peut avoir plusieurs objectifs : la création d'un prototype ou de petites séries, l'étude ou l'exposition d'un objet fragile . . .

Pour les méthodes par ajout de matière, les systèmes d'acquisitions les plus adaptés sont les systèmes laser ligne sur bras poly articulés ou les systèmes à projection de franges.

Le modèle 3D devant être un maillage fermé, les systèmes laser point ou palpeur sont ici à éviter. Dans le cas des méthodes par enlèvement de matière, le modèle 3D devant être surfacique, la situation est inversée : ce sont les systèmes laser point et palpeur les plus appropriés. Dans le cas de la duplication à échelle réduite d'un objet de grandes dimensions, les systèmes temps-de-vol peuvent être utilisés [1].

I.3.3. Choix du scanner et protocoles d'acquisitions

Une fois les prérequis définis, l'utilisateur doit choisir le système adapté à ses besoins.

Les procédures d'acquisition diffèrent en fonction du type de scanner utilisé. Dans cette section, nous décrirons les protocoles d'acquisitions pour les systèmes rencontrés [1].

I.3.3.1. Capteurs point ou ligne sur MMT (machine de mesure tridimensionnelle) :

Les capteurs ligne ou point sur MMT ne sont pas utilisés pour numériser entièrement un objet. Le principal avantage d'un capteur sur MMT est sa grande précision de positionnement.

Tant que l'objet n'est pas déplacé ou retourné, toutes les données acquises sont automatiquement recalées entre elles. Ces systèmes servent à contrôler certaines dimensions de l'objet, en vue d'une comparaison avec le modèle CAO par exemple.

Dans le cas d'un laser point, le temps de numérisation d'un objet complet serait inacceptable. Pour un laser ligne, c'est le mode de fonctionnement du système qui restreint son utilisation. En effet, la manipulation d'un capteur sur MMT n'est pas directe :

Chaque trajectoire est programmée en fonction de différents paramètres (position de départ, position d'arrivée, orientation du capteur, pas d'échantillonnage . . .) et génère une bande de points 3D dont la largeur dépend du capteur utilisé. Le balayage s'effectue perpendiculairement à la ligne laser. Ce mode opératoire empêche une manipulation "intuitive" du capteur par l'opérateur et est assez complexe à mettre en œuvre. Aussi, dans le cas de l'utilisation d'un capteur laser ligne, les bras poly articulés sont beaucoup plus adaptés à la numérisation complète d'un objet (lorsque la précision requise n'est pas critique) [11].

Le tableau 1.3 donne un récapitulatif des avantages et inconvénients des capteurs laser sur MMT.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Très grande précision de positionnement très grande - Précision des données obtenues (en fonction du capteur) - recalage automatique des différentes bandes acquises (toutes les données sont acquises dans le même référentiel machine) 	<ul style="list-style-type: none"> - Manque de maniabilité - vitesse d'acquisition faible

Tableau 1.3 : avantage et inconvénients des capteurs MMT

I.3.3.2. Scanners à acquisition par vue

Dans cette catégorie, trois types de scanners peuvent être identifiés : les scanners à triangulation laser ligne à balayage, les scanners temps de vol et les systèmes à projection de franges lumineuses. L'utilisation de ces systèmes est assez intuitive : le scanner est positionné devant l'objet ou la scène à numériser et une première vue est acquise. En fonction des données présentes sur cette vue, l'opérateur définit la position suivante et effectue une nouvelle acquisition. Le nombre de prises de vue va dépendre de la complexité géométrique de l'objet, ainsi que de l'expérience de l'opérateur dans le choix de la vue suivante.

Lors d'une acquisition, la vue numérisée est positionnée dans le référentiel du scanner.

En déplaçant le scanner, le référentiel est également modifié, et l'acquisition suivante n'est donc pas recalée par rapport à la première. En fonction du système utilisé, les différentes acquisitions peuvent être recalées au fur et à mesure (manuellement ou automatiquement).

Lorsque cette étape n'est pas possible, les post-traitements sont appliqués à un premier ensemble de vues, puis l'opérateur juge si des acquisitions supplémentaires sont nécessaires ou non. Ce type de système génère un nuage de point régulier en X et Y. De nombreux systèmes fournissent directement un modèle triangulé. Dans le cas de l'acquisition avec un système temps de vol, les données 3D sont sous forme d'un nuage de points. Afin de mailler ce nuage, une triangulation 3D est nécessaire [1].

Le tableau 1.4 illustre les avantages et inconvénients des systèmes à acquisition par vue.

Avantages	inconvénient
Vitesse d'acquisition élevée portabilité des systèmes (sauf systèmes sur bras robot) prise de texture (suivant les systèmes)	Peu maniable

Tableau 1.4 : avantages et inconvénients des systèmes à acquisition par vue

I.3.3.3. Scanners laser ligne sur bras poly articulé ou tracker optique :

L'acquisition d'un objet avec ce type de système est analogue à l'application d'une couche de peinture sur l'objet à l'aide d'un pistolet. L'opérateur balaye manuellement la surface de l'objet avec le capteur. L'acquisition des données 3D est donc entièrement manuelle. Les lignes acquises sont automatiquement recalées dans une référentielle unique grâce :

- aux différents codeurs placés dans les articulations dans le cas d'un bras,
- à la triangulation effectuée par les caméras dans le cas d'un tracker optique.

Ce recalage est toutefois moins précis que dans le cas d'une MMT. Au cours de l'acquisition. Les bandes d'acquisition sont très nettement visibles. La résolution dépend :

- de l'espacement des points sur la ligne, qui est lié au modèle de capteur utilisé,
- de l'espacement entre les lignes, qui dépend de la vitesse à laquelle l'opérateur balaye l'objet.

Du fait de leur facilité d'utilisation, ces systèmes d'acquisition sont de plus en plus utilisés de nos jours, et connaissent une évolution rapide en termes de vitesse d'acquisition et de précision de positionnement [1].

Le tableau 1.5 donne un récapitulatif des avantages et inconvénients de ces systèmes.

Avantages	Inconvénients
Vitesse d'acquisition élevée Portabilité des systèmes grande maniabilité	Acquisition manuelle Résolution hétérogène Redondance nécessaire

Tableau 1.5 : avantages et inconvénients des systèmes sur bras poly articulés

I.4. Kinect :

Ce projet utilise le capteur de la Kinect pour réaliser l'acquisition des images de l'objet. La Kinect est un appareil de capture de mouvement développé par Microsoft pour les jeux vidéo. L'appareil utilise une caméra et des rayons infrarouges pour faire ses mesures.

L'image est ensuite transmise à l'ordinateur qui va en déduire les distances entre certains points situés à la surface de l'objet et le capteur Kinect. La modélisation 3D est alors reconstituée à partir de ces données grâce à un logiciel spécialisé.

Ce projet exploite largement une technologie déjà existante pour la partie acquisition du scanner. La principale phase de développement du projet est donc de traiter informatiquement les données issues de la Kinect pour reconstituer la numérisation de l'objet.

Ce modèle constitue donc une réponse partielle aux attentes de notre projet : il est peu coûteux et il permet de numériser des objets de grande taille. Les points faibles de ce projet est qu'il

nécessite une forte intervention de l'utilisateur lors de la numérisation, et qu'il nous laisse peu de marge pour des contributions personnelles.



Figure 1.20 : Capteur de la Kinect (Microsoft)

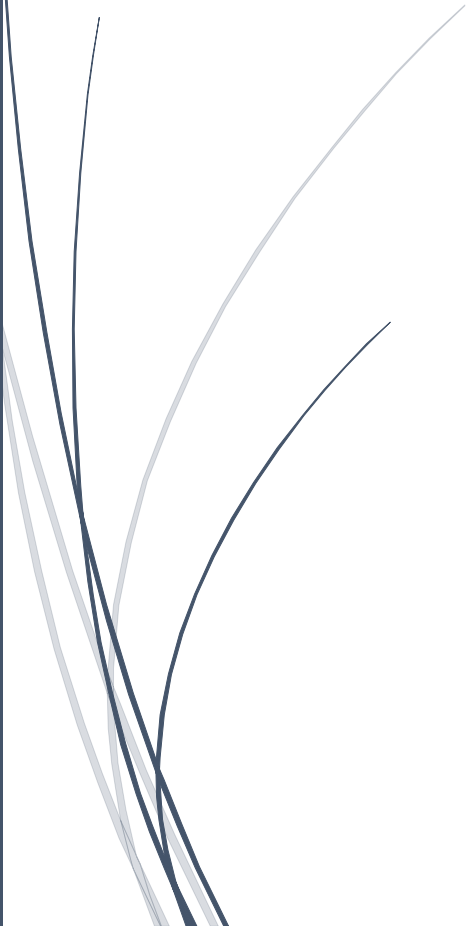
I.5. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons décrit la méthodologie complète, de la préparation de l'objet aux post-traitements, que doit suivre l'opérateur afin de numériser un objet. Nous avons décrit aussi dans les technologies les plus couramment rencontrées, permettant l'acquisition de la forme de l'objet.



Chapitre II:

Conception d'un scanner 3D



II.1. Introduction :

La conception est une étape indispensable avant tout projet de construction : lors de la phase de conception il faut définir les méthodes de fabrication et d'assemblage des pièces en prenant en compte la faisabilité du montage, son ordre chronologique et en vérifiant la bonne interaction des pièces entre elles.

Dans notre projet, les difficultés d'adaptation dans la conception concernent particulièrement la structure du scanner.

La conception du scanner 3D a été réalisée par une conception CAO sous le logiciel CATIA V5. Par conséquent, ce chapitre a été introduit par une première partie donnant une vision générale sur le logiciel CAO/DAO «CATIA V5». Ensuite, une deuxième partie qui traite la méthode de la conception en 3D du support en donnant les différentes étapes de conception.

II.2. Définition de la CAO :

On peut définir la Conception Assistée par Ordinateur (CAO) par l'ensemble des outils logiciels et des techniques informatiques permettent d'assister les concepteurs dans la conception et la mise au point d'un produit [KERIBIN]. Un logiciel de CAO se compose généralement de quatre parties majeures qui peuvent être organisées comme suit : [12]

II.2.1. Le modelleur géométrique: il représente "la planche à dessin". Nous trouvons dans cette partie les composants géométriques essentiels: points, droites, cercles, ellipses, plans, sphères, cylindres, cônes, courbes de Bézier, surfaces NURBS, surfaces de révolution, surfaces de balayage, etc. Il intègre également les composants topologiques: sommets, faces, arêtes, orientations, coïncidences, adjacences, intersections, soustractions, unions, etc.

II.2.2. L'outil de visualisation.

II.2.3. Un certain nombre d'applications: nous retrouvons le calcul des grandeurs géométriques (distances, inerties, volumes, masses, etc.), les fonctions métiers: assemblage de pièces, production de plans, simulation d'usinage, moulage, fraisage, etc.

II.2.4. Un contrôleur: il gère et manipule les intersections entre les trois outils cités précédemment.

Dans ce travail, nous avons choisi le logiciel CATIA V5 pour développer les méthodes et techniques proposées.

II.3. Conception des pièces

Les pièces se conforment à partir d'une esquisse dessinée sur un plan. Cette esquisse 2D est obtenue par des formes géométriques simples comme ces lignes et ces cercles. Une fois l'esquisse est prête, le logiciel offre plusieurs fonctions à exécuter. On peut la prolonger vers une direction (extrusion), la faire tourner autour d'un axe ou réaliser plusieurs autres opérations. Comme cela, on obtient une pièce qui prend une troisième dimension. Cette pièce peut être modifiée à posteriori en changeant les paramètres de la fonction ou l'esquisse objet de la fonction. Chaque opération réalisée sur la pièce requière une esquisse. Le dessin est paramétré, c'est-à-dire qu'on peut modéliser la forme souhaitée sans se préoccuper des dimensions exactes. Les dimensions des différentes pièces peuvent être liées de façon que lorsqu'une change, les autres changent aussi. Comme cela une petite variation d'une pièce n'entraîne pas la modification manuelle et laborieuse des autres pièces de l'ensemble [12].

II.4. Assemblage

A mesure qu'on réalise les pièces, on peut les assembler dans un nouveau fichier qui contiendra seulement les contraintes et rapports qu'on a imposé aux pièces. Les contraintes définissent la position des pièces dans l'ensemble et les liaisons entre elles. On peut donc imposer que deux pièces soient concentriques, que deux surfaces soient coplanaires ou par exemple que la distance entre deux surfaces soit déterminée.

On peut créer un assemblage d'assemblages et comme cela construire des grands ensembles de façon structurée et ordonnée. La structure qu'on obtient est celle d'un arbre où des pièces font partie d'ensembles qui à la fois appartiennent à un ensemble plus grand. Si un changement est effectué sur une pièce individuelle, celle-ci va changer automatiquement dans l'assemblage de façon que l'on puisse voir l'effet de la modification dans l'ensemble.

Les différentes pièces ou ensembles peuvent avoir un mouvement relatif entre elles quand les contraintes leur permettent. Ceci est une aide à la conception car on peut prendre des mesures exactes de différentes positions et comme cela optimiser le design [12].

II.5. Mise en plan

Pour que l'atelier puisse réaliser les pièces, il a besoin de plans en 2D plutôt que d'un dessin tridimensionnel dont la cotation serait assez confuse. CATIA V5 possède un module capable de projeter des vues de pièces ou d'ensembles sur un plan. Ensuite on peut faire des coupes et d'autres opérations pour mieux représenter la pièce sur le plan. La cotation est automatique même si elle n'est pas toujours optimisée pour l'usinage. Un changement sur une cote du plan

entraîne la modification automatique de cette dimension sur la pièce d'origine et vice-versa [12].

II.6. Outil CAO utilisé

Dans ce travail, nous avons choisi le logiciel CATIA pour développer les méthodes et techniques proposées. CATIA est l'acronyme de Conception Assistée Tridimensionnelle. Le logiciel est conçu par Dassault Systèmes en France et est un logiciel de CAO 3D volumique et surfacique qui bénéficie maintenant d'une très large utilisation. Ce logiciel représente un puissant et robuste outil de CFAO (Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur).

Il est bien entendu plus qu'un simple logiciel permettant la définition géométrique d'un ensemble mécanique. C'est une véritable plate-forme pluridisciplinaire permettant de modéliser et d'optimiser le couple produit/processus. En raison de sa capacité à gérer, manipuler des modèles, des solides, et des surfaces complexes, ce logiciel couvre un très grand nombre de domaines qui nécessitent beaucoup de précision [12].

II.7. Introduction sur CATIA V5 :

CATIA Version 5 est la première version de la nouvelle génération des produits CATIA Solutions. Elle répond aux besoins en matière de conception avancée dans le domaine mécanique. Outre des fonctions de conception basées sur les dernières évolutions technologiques, CATIA Version 5 permet une performance optimale dans la conception des assemblages mécaniques et la génération de dessins.

Disponible sous UNIX et sous Windows, CATIA Version 5 est conçue de manière à être entièrement conforme aux normes de présentation de Windows [12].










II.8. Définition de CATIA V5:

La conception de ce scanner 3D se fait à l'aide du logiciel CATIA V5. Ce logiciel offre des outils très puissants à ceux qui veulent réaliser une conception mécanique intégrale. Ce n'est pas seulement un logiciel de dessin mais aussi un simulateur qui permet de calculer les propriétés volumétriques et massiques d'un ensemble. Il permet de faire des simulations des mouvements entre des pièces ou des ensembles de façon que l'on puisse détecter les possibles interférences. Une fois le dessin 3D achevé, le logiciel permet une mise en plan rapide et pratique.

L'utilisation du logiciel CATIA V5 a été choisi vu que nous le maîtrisons et du fait qu'il est capable de réaliser les différentes formes de notre support. CATIA V5 est un outil de conception de modélisation volumique paramétrée basée sur des fonctions, associatif [13].

II.9. Présentation des ateliers :

CATIA Version 5 est divisé en ateliers que l'on peut regrouper selon les éléments suivants :

-  Infrastructure : Installation, Interface, Rendu réaliste ;
-  Mechanical: *Part design*, *Assembly design*, *Drafting*, *Sheet metal*, *Wireframe surface*, *Sketcher*, *Structure design*;
-  Shape Design : Modules surfaciques ;
-  Analysis : Analyse par éléments finis ;
-  Equipment & Systems Engineering: Électronique;
-  Plant: Installation d'entreprises;
-  NC Manufacturing: Usinage 3 axes;
-  Product Synthesis : Gestion de la connaissance et maquette numérique ;
-  Programming Interface : Développement en C++

[13]

II.10. Les étapes de conception :

Après avoir effectué la commande des pièces pour la fabrication du scanner, nous avons commencé à modéliser le projet sous le logiciel de CAO CATIA V5, que nous avons déjà utilisé quelquefois en cours. Cette modélisation avait pour but d'une part de mieux visualiser notre projet et son fonctionnement et d'autre part de dimensionner et concevoir les pièces manquantes.

II.10.1. Conception de disque de rotation :

Nous avons ensuite dû modéliser le disque tournant. Nous voulions obtenir un disque à la fois assez large pour accueillir des pièces relativement grandes et assez fin pour qu'il ne soit pas inutilement lourd.

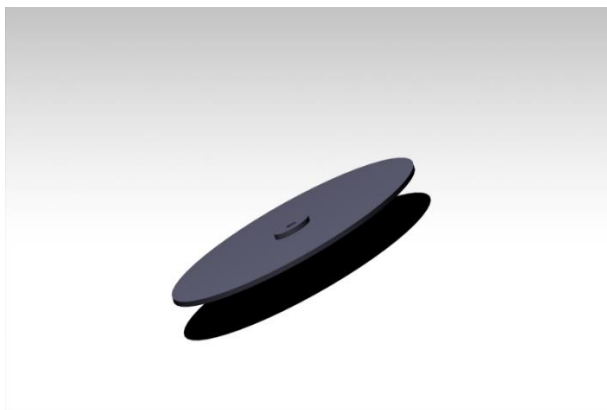


Figure 2.1 : conception de disque tournant

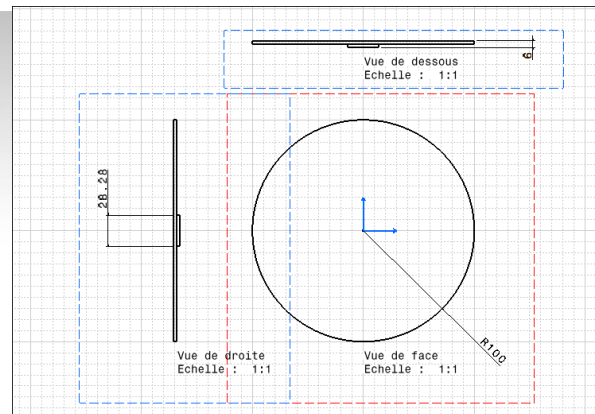


Figure 2.2 : les cotations de disque tournant

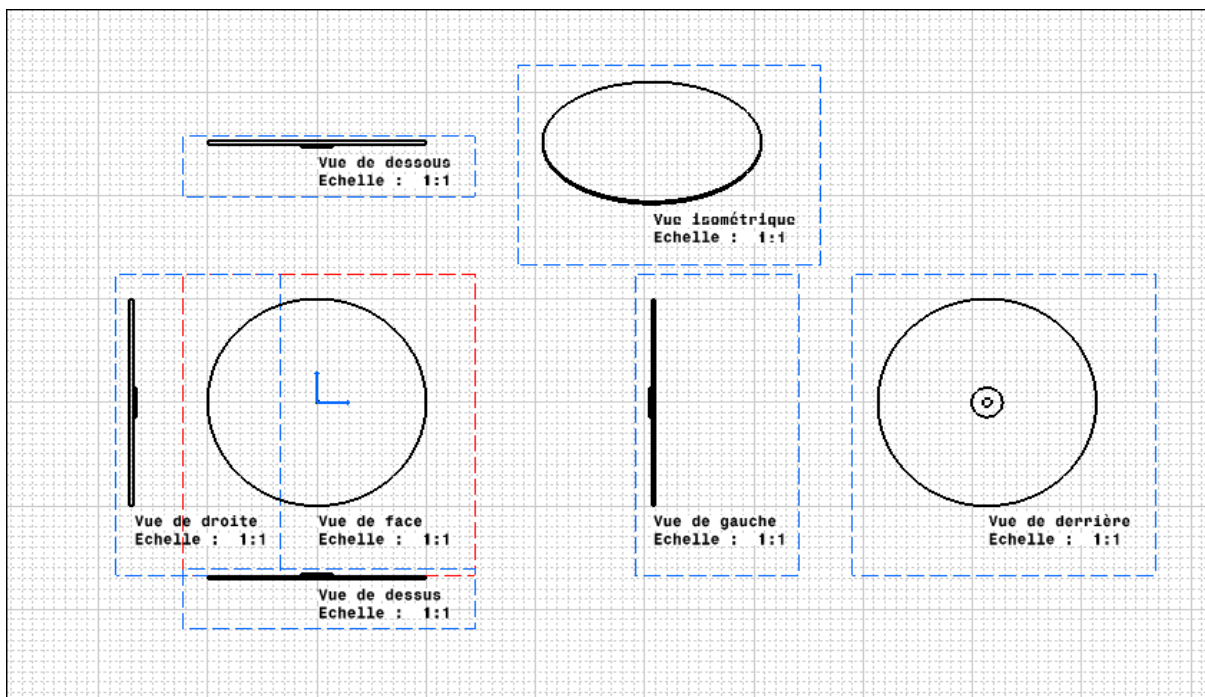


Figure 2.3 : mise en plan de disque de rotation

II.10.2. Conception de Kinect :



Figure 24 : image de Kinect

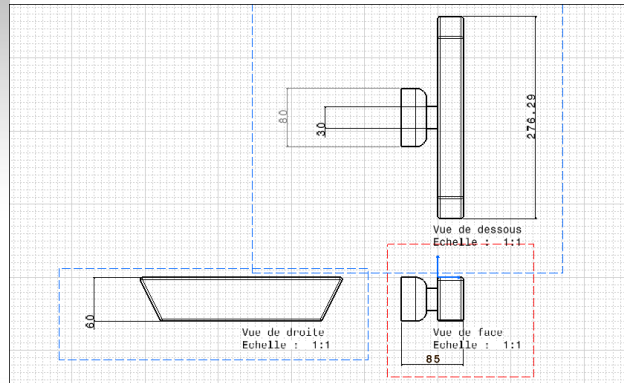


Figure 25 : les cotations de Kinect

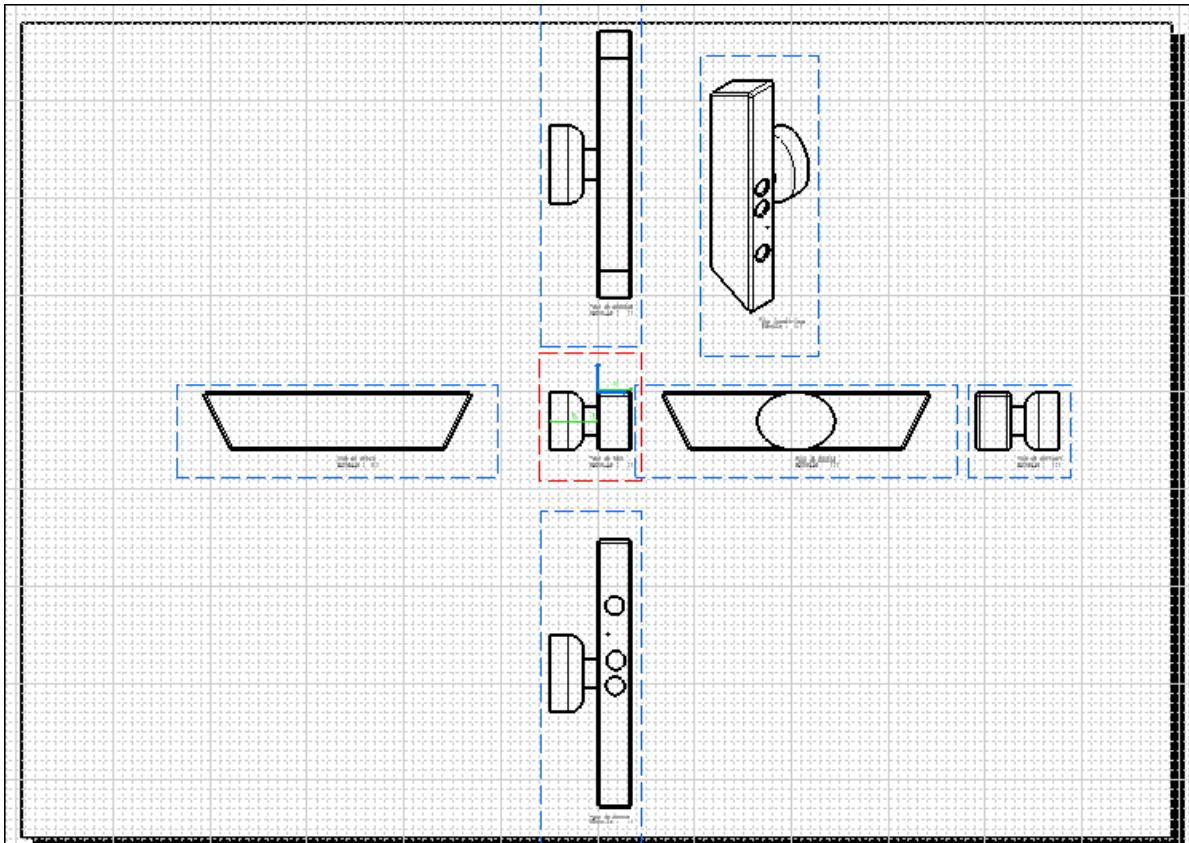


Figure 2.6 : mise en plan de Kinect

II.10.3. Conception de cylindre de support :

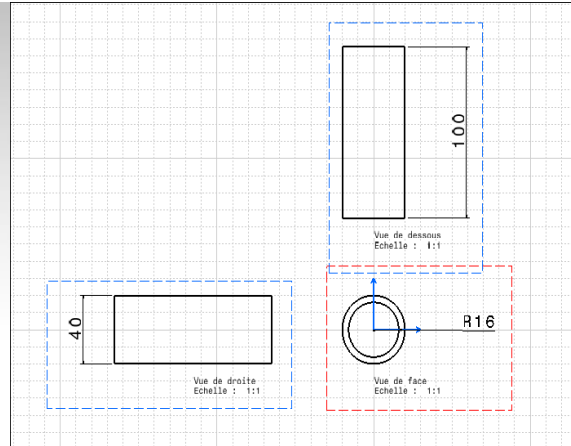
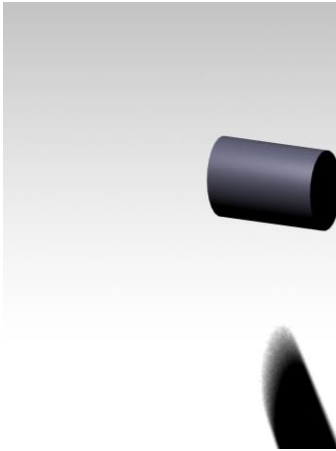


Figure 2.7 : conception de cylindre de support

Figure 2.8 : les cotations de cylindre de support

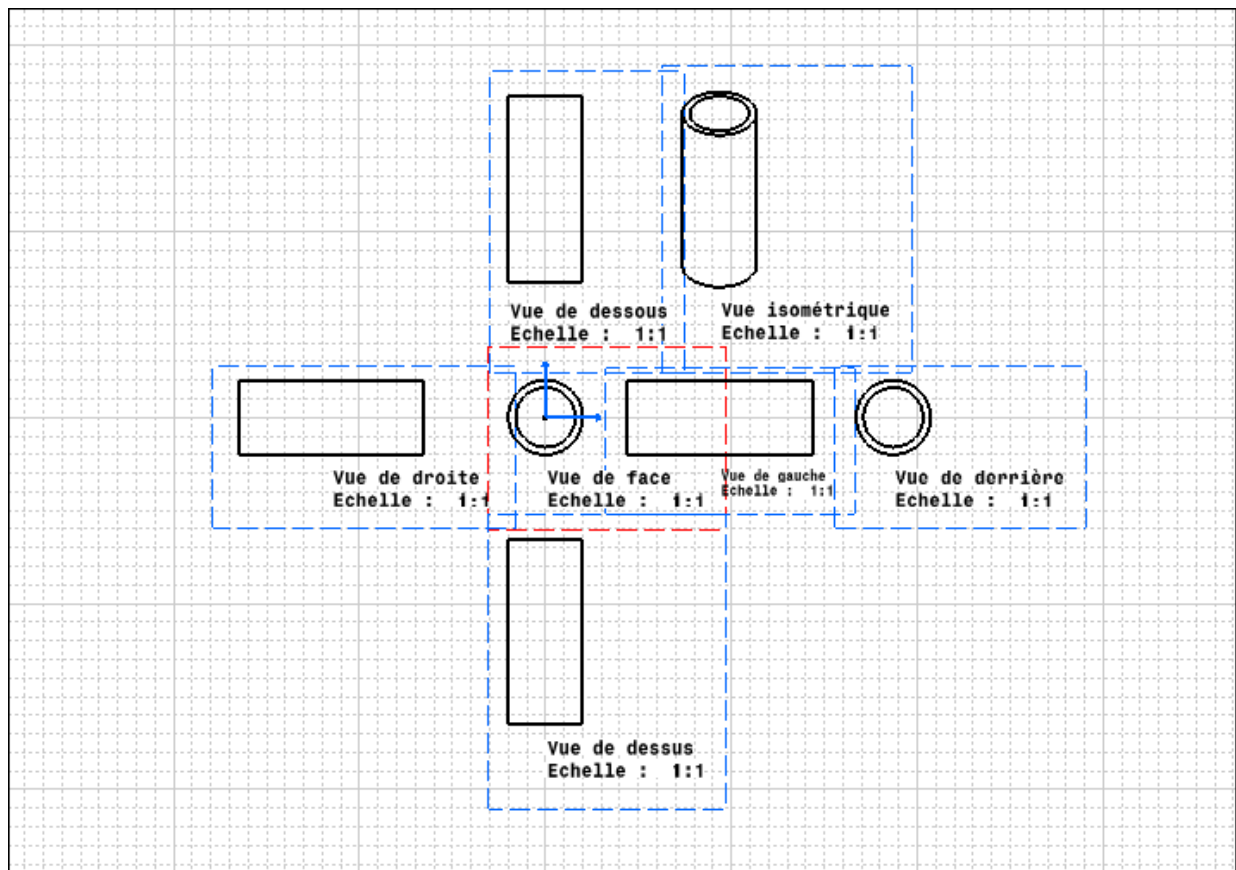


Figure 2.9 : mise en plan de cylindre de support

II.10.4. II Conception de cylindre de support mobile :



Figure 2.10 : conception de cylindre de support mobile

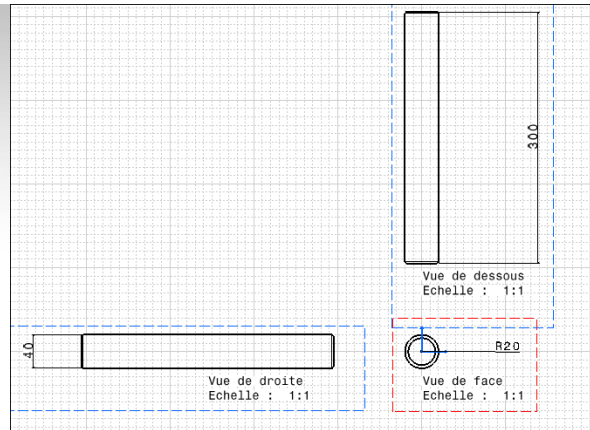


Figure 2.11 : les cotations de cylindre de support mobile

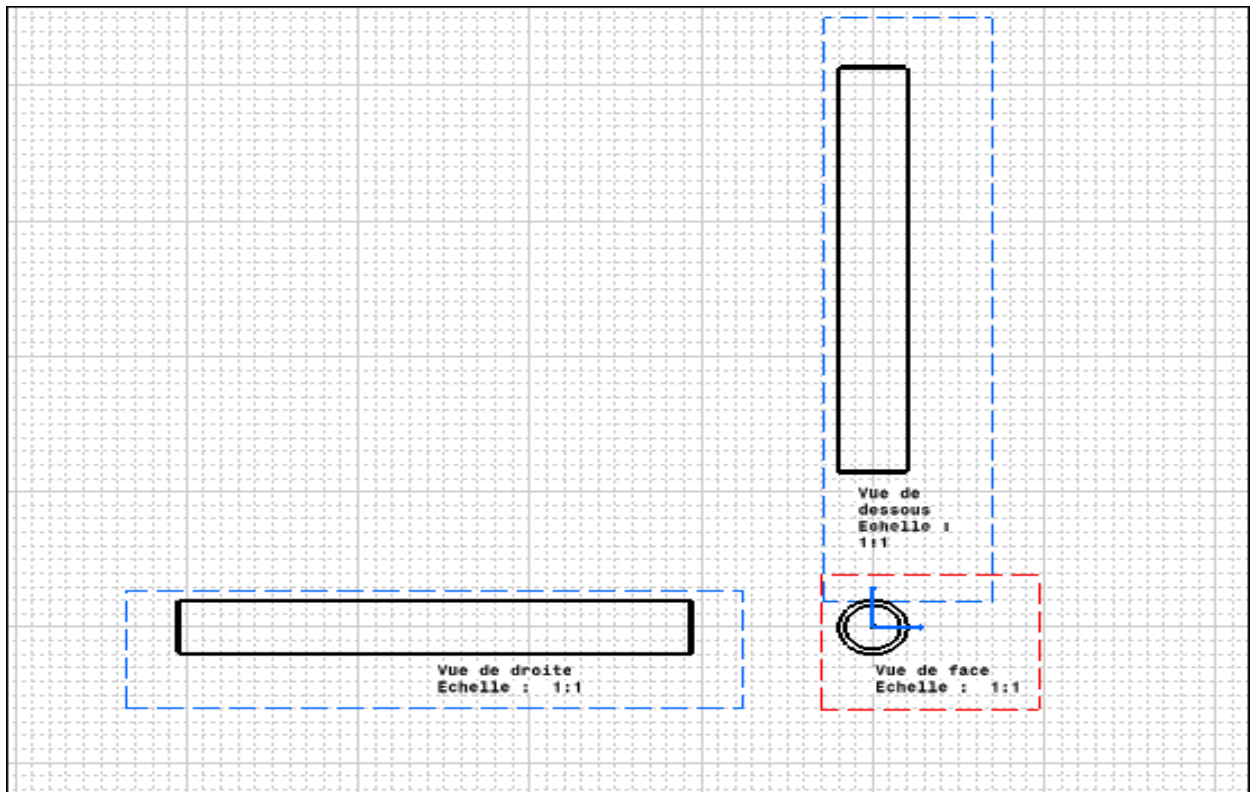


Figure 2.12 : mise en plan de cylindre de support mobile

II.10.5. Conception de cylindre de support de Kinect :

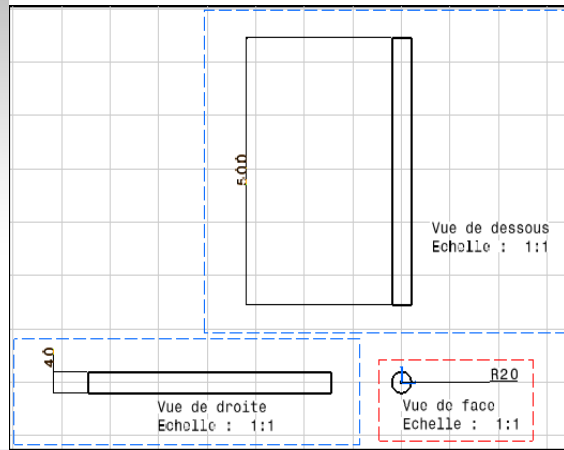
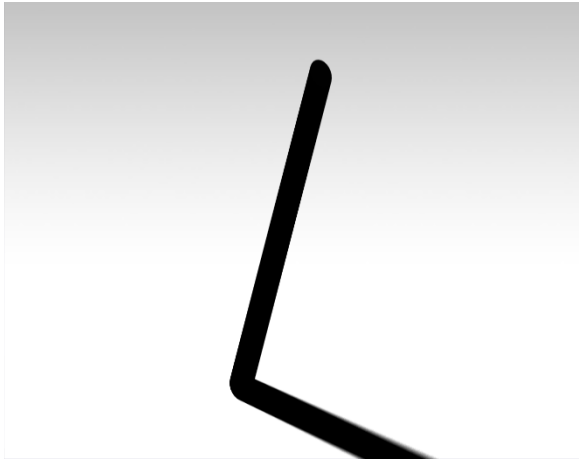


Figure 2.13 : conception de cylindre de support de Kinect

Figure 2.14 : les cotations de cylindre de support de Kinect

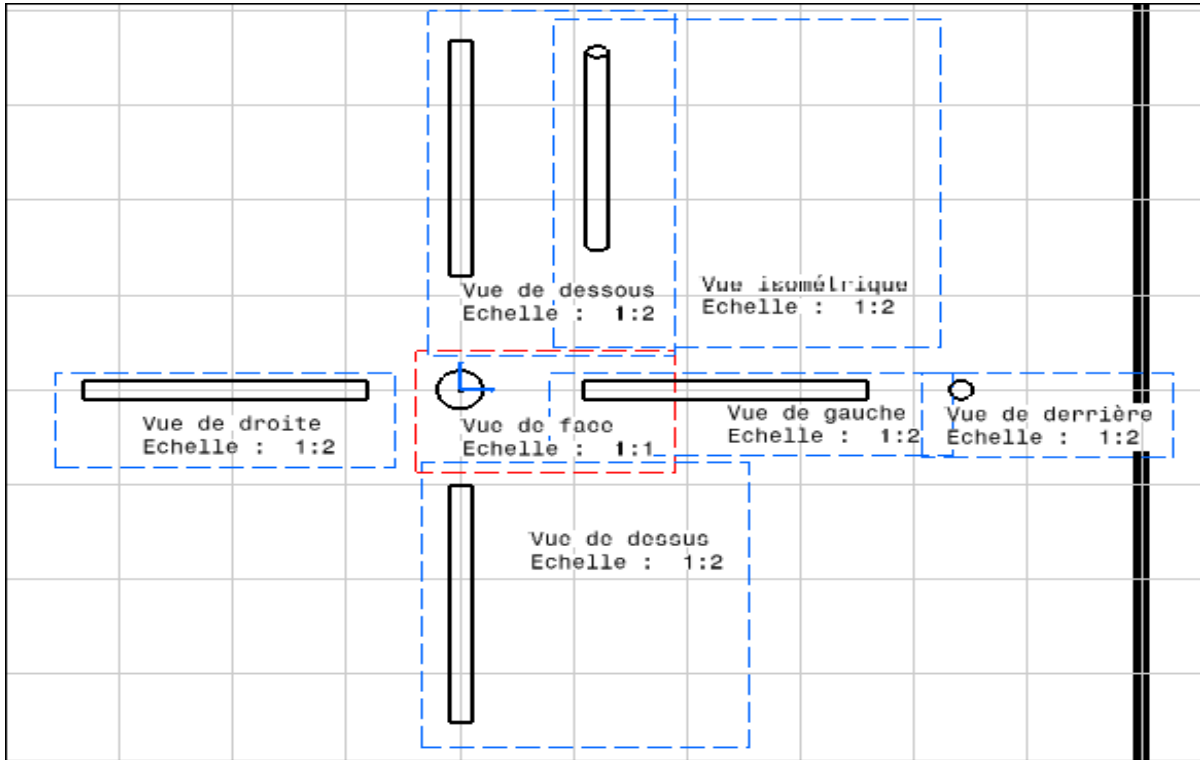


Figure 2.15 : mise en plan de cylindre de support de Kinect

II.10.6. Conception de moteur pas à pas :



Figure 2.16 : conception de moteur pas à pas

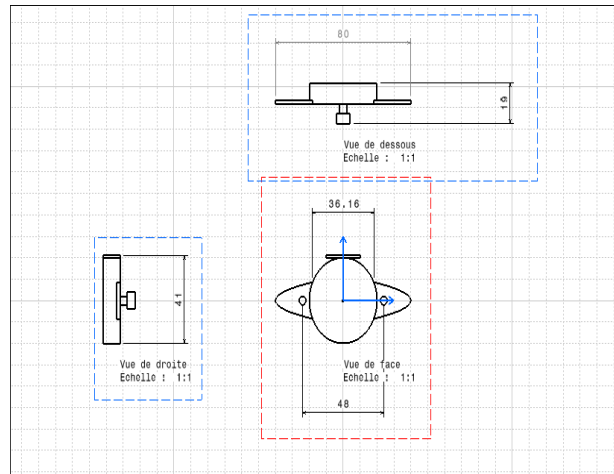


Figure 2.17 : les cotations de moteur pas à pas

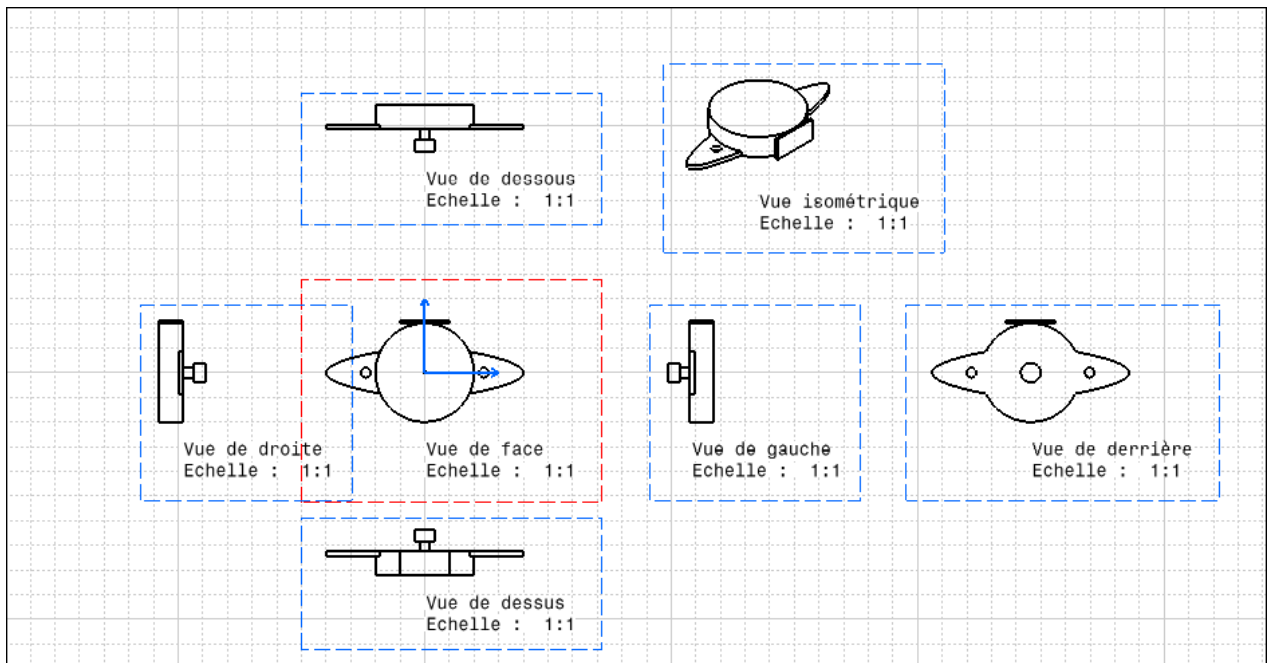


Figure 2.18 : mise en plan de moteur pas à pas

II.10.7. Conception de support :

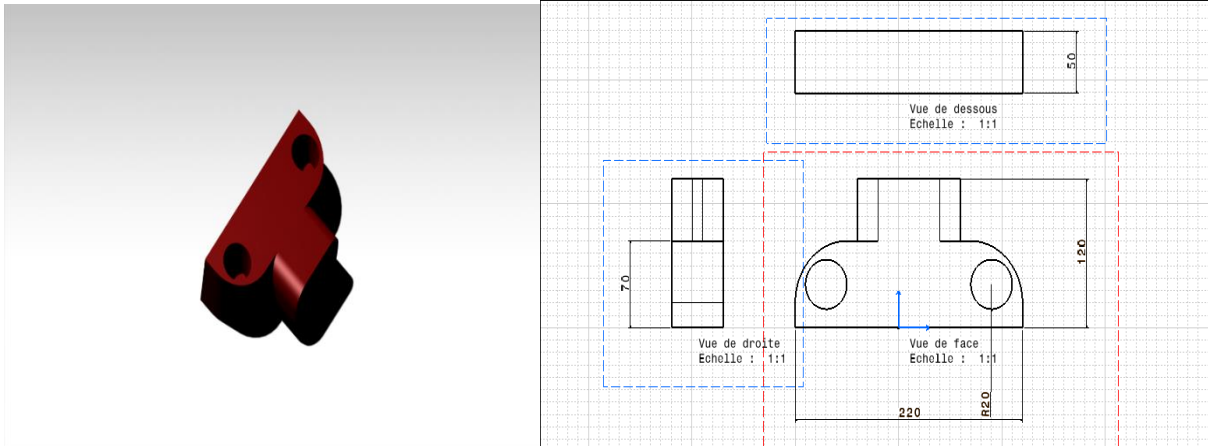


Figure 2.19 : conception de support

Figure 2.20 : les cotations de support

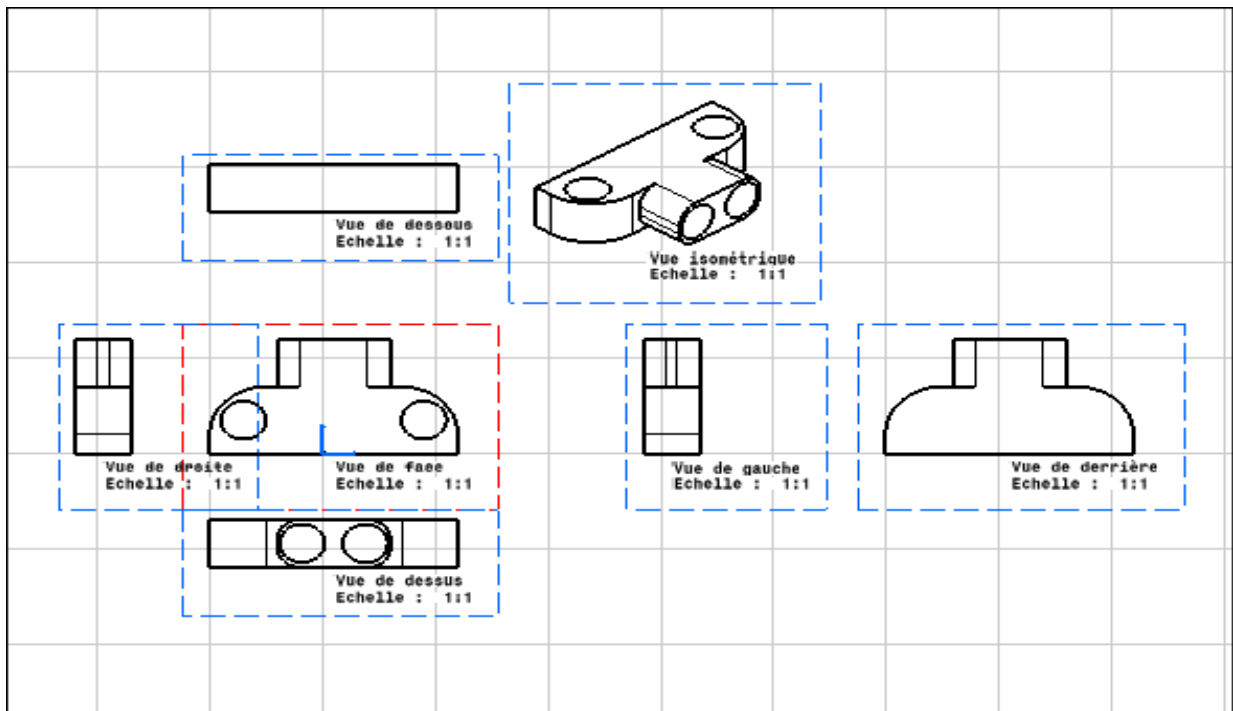


Figure 2.21 : mise en plan de support

II.10.8. Conception de support de moteur :

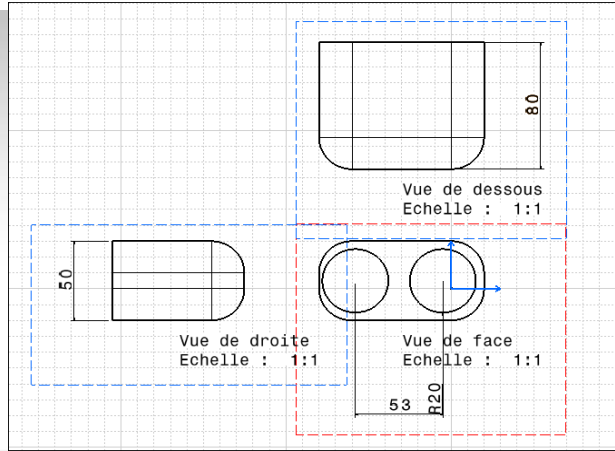
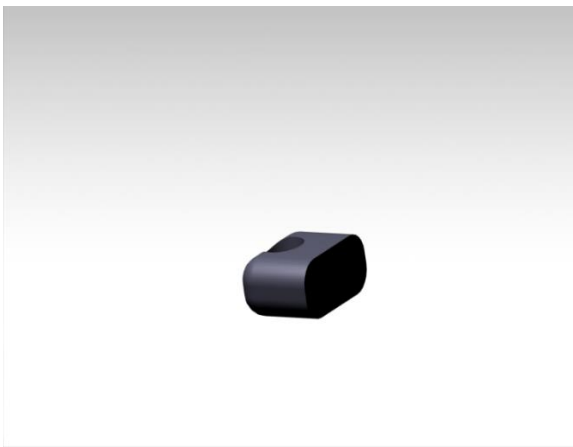


Figure 2.22 : conception de support de moteur

Figure 2.23 : les cotations de support de moteur

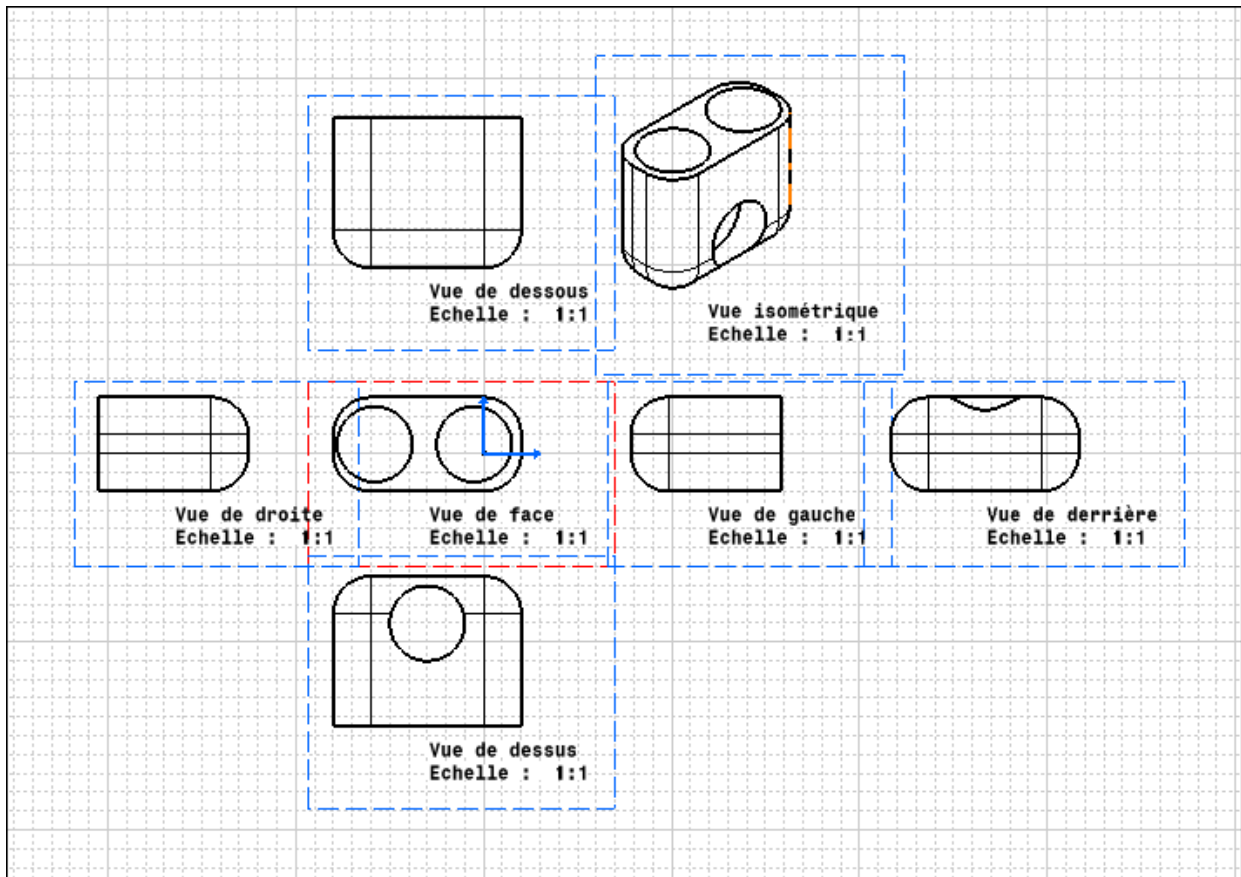


Figure 2.24 : mise en plan de support de moteur

II.10.9. Conception de table :

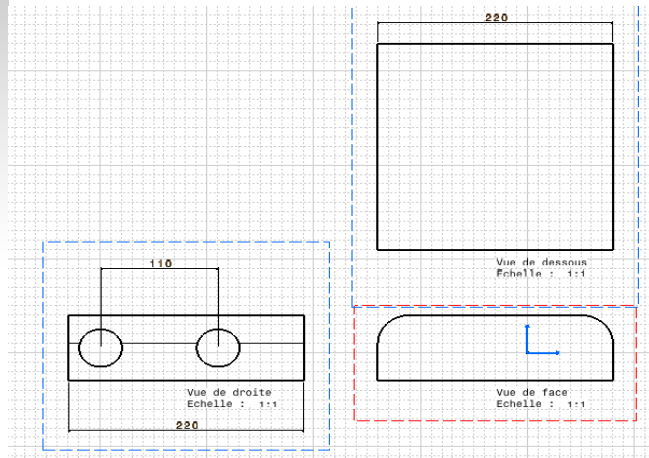
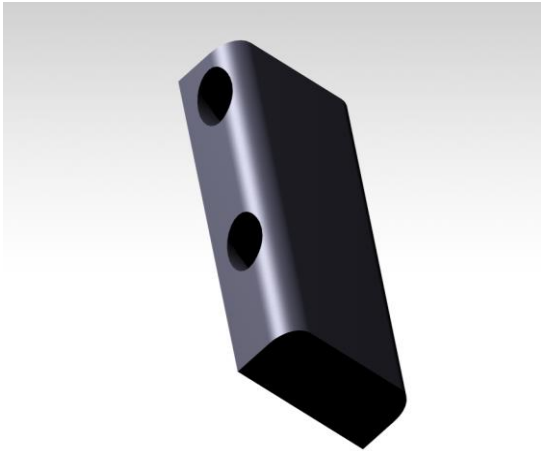


Figure 2.25 : conception de table

Figure 2.26 : les cotations de table

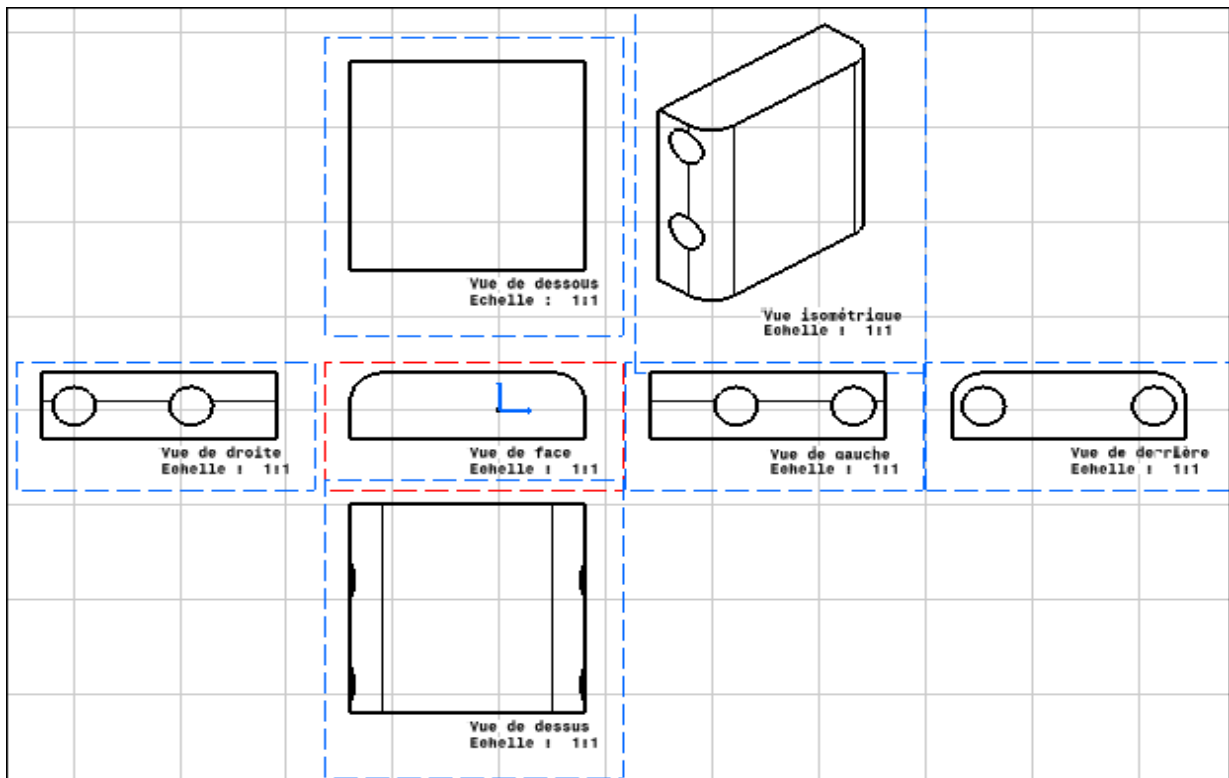


Figure 2.27 : mise en plan de table

II.10.10. Conception de support de Kinect :

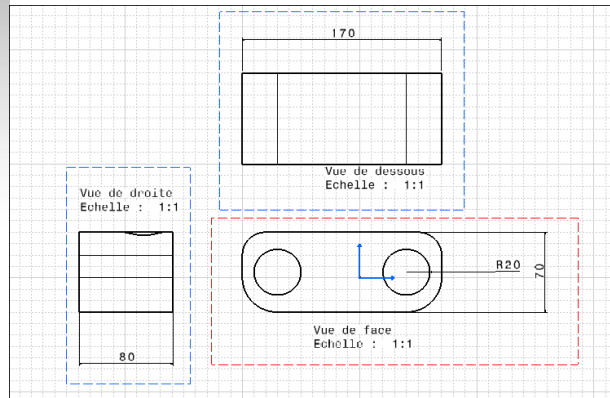
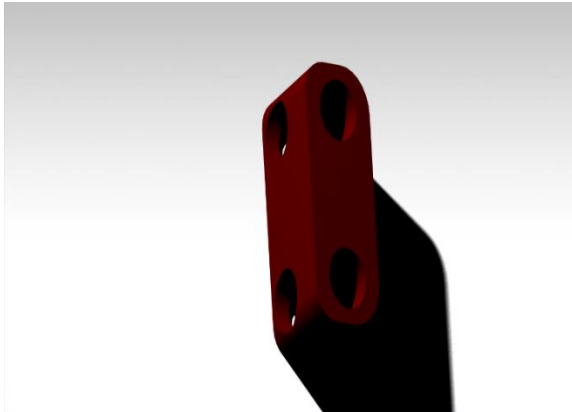


Figure 2.28 : conception de support de Kinect

Figure 2.29 : les cotations de support de Kinect

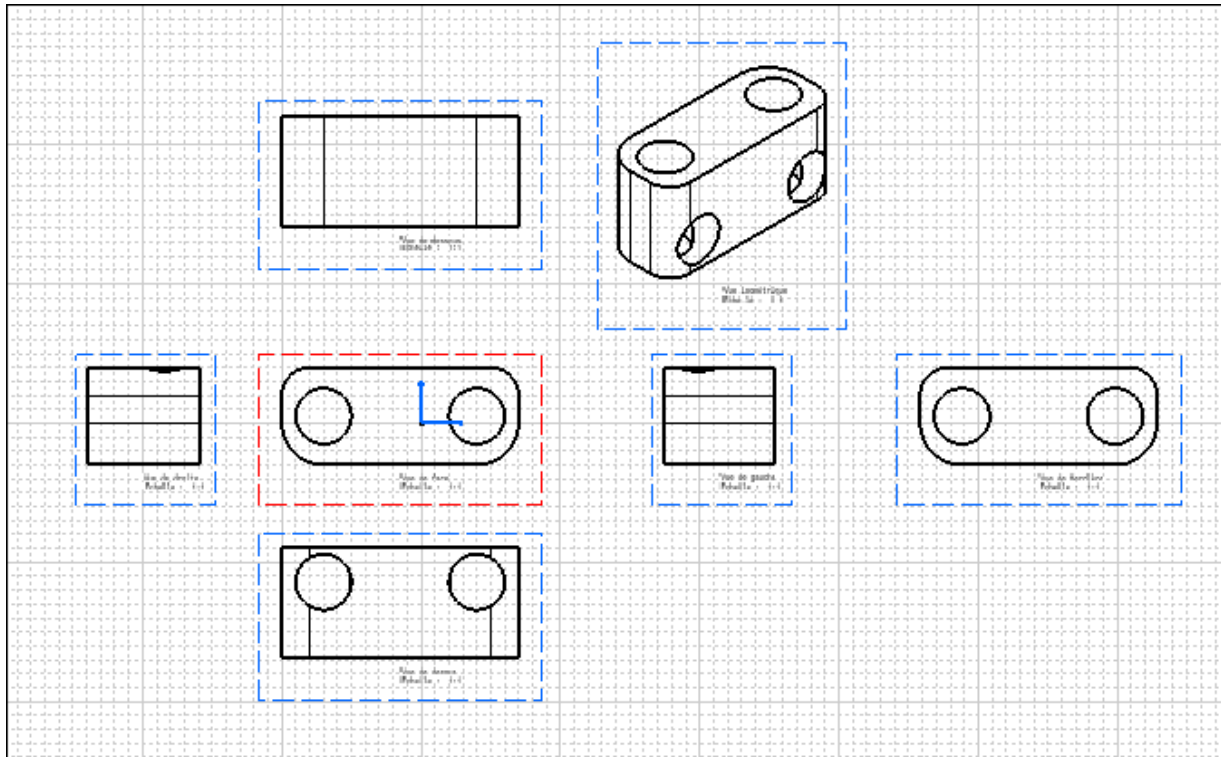


Figure 2.30 : mise en plan de support de Kinect

II.10.11. Conception de support de fixation de Kinect :

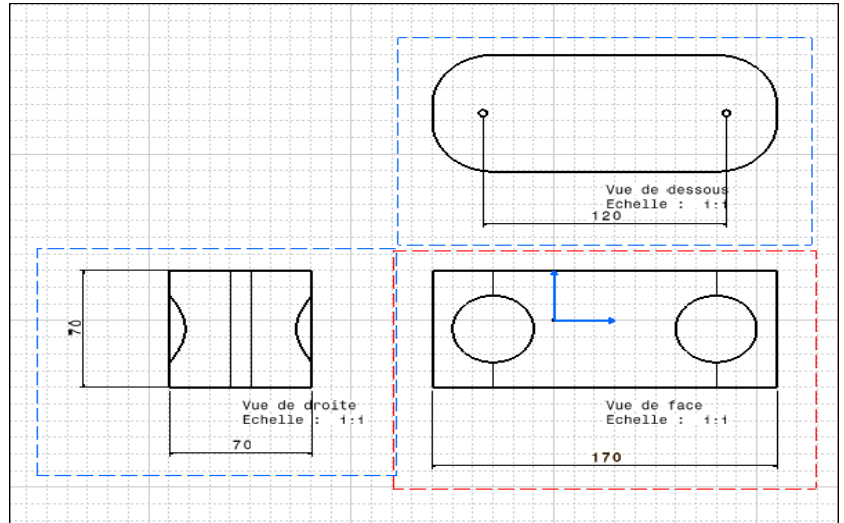
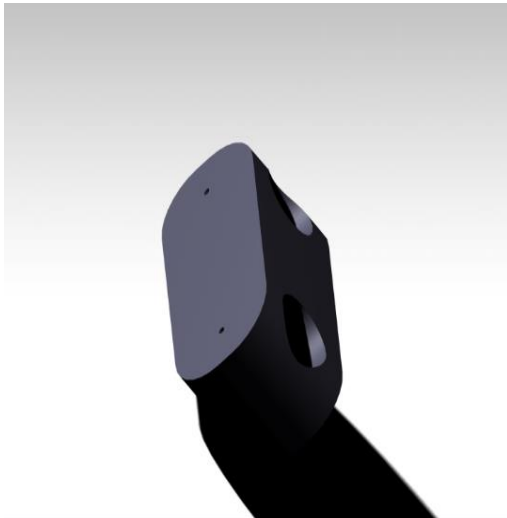


Figure 2.31 : conception de support fixation de Kinect

Figure 2.32 : les cotations de support fixation de Kinect

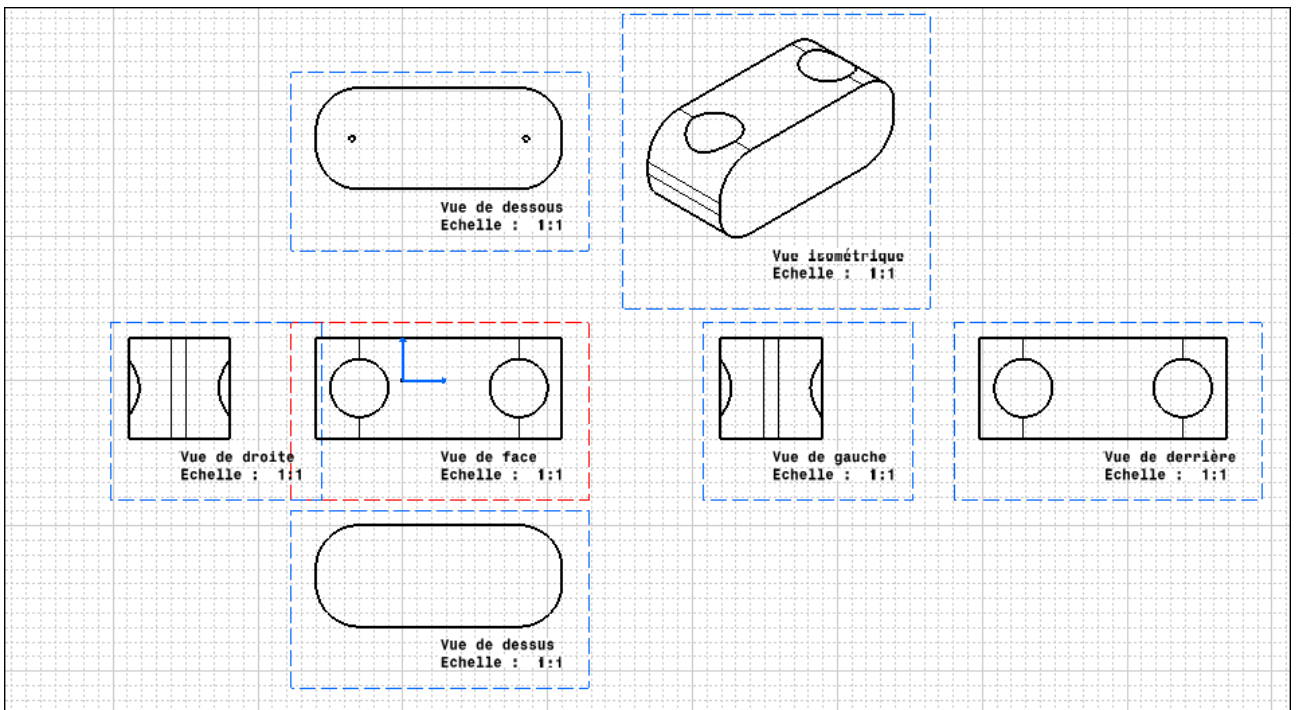


Figure 2.33 : mise ne plan de support de fixation de Kinect

II.10.12. Conception de pièce de fixation de Kinect :



Figure 2.34 : conception de pièce de fixation de Kinect

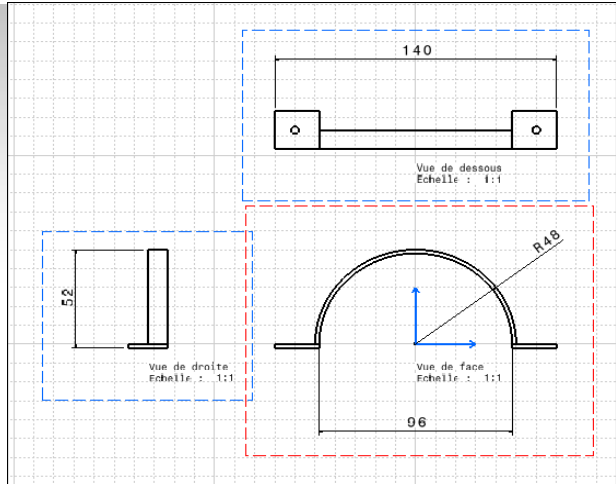


Figure 2.35 : les cotations de pièce de fixation de Kinect

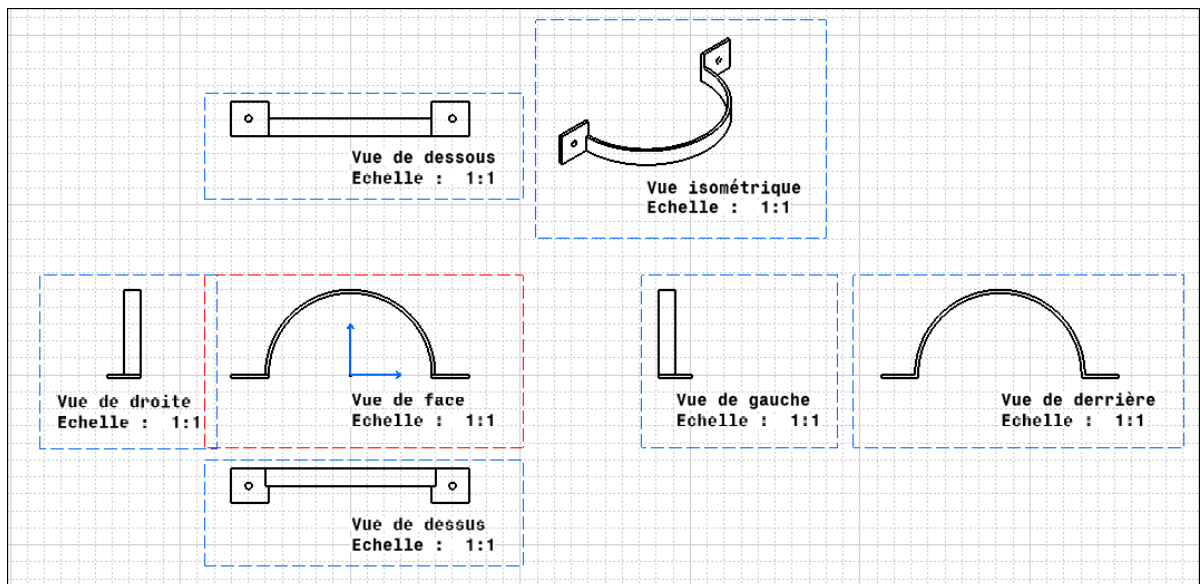


Figure 2.36 : mise en plan de pièce de fixation de Kinect

II.10.13. Conception de pièce de fixation de support de Kinect :

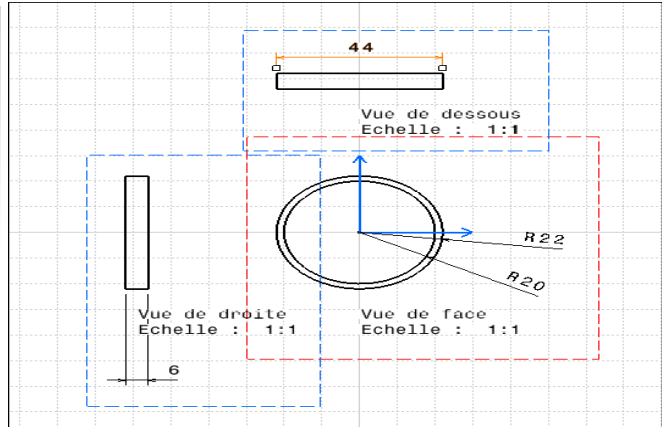
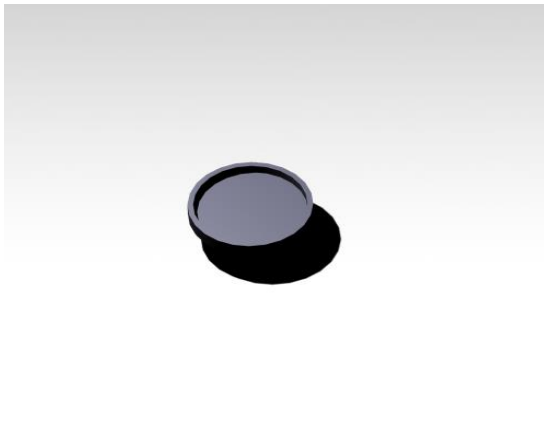


Figure 2.37 : conception de pièce de fixation de support de Kinect

Figure 2.38 : les cotations de pièce de fixation de support de Kinect

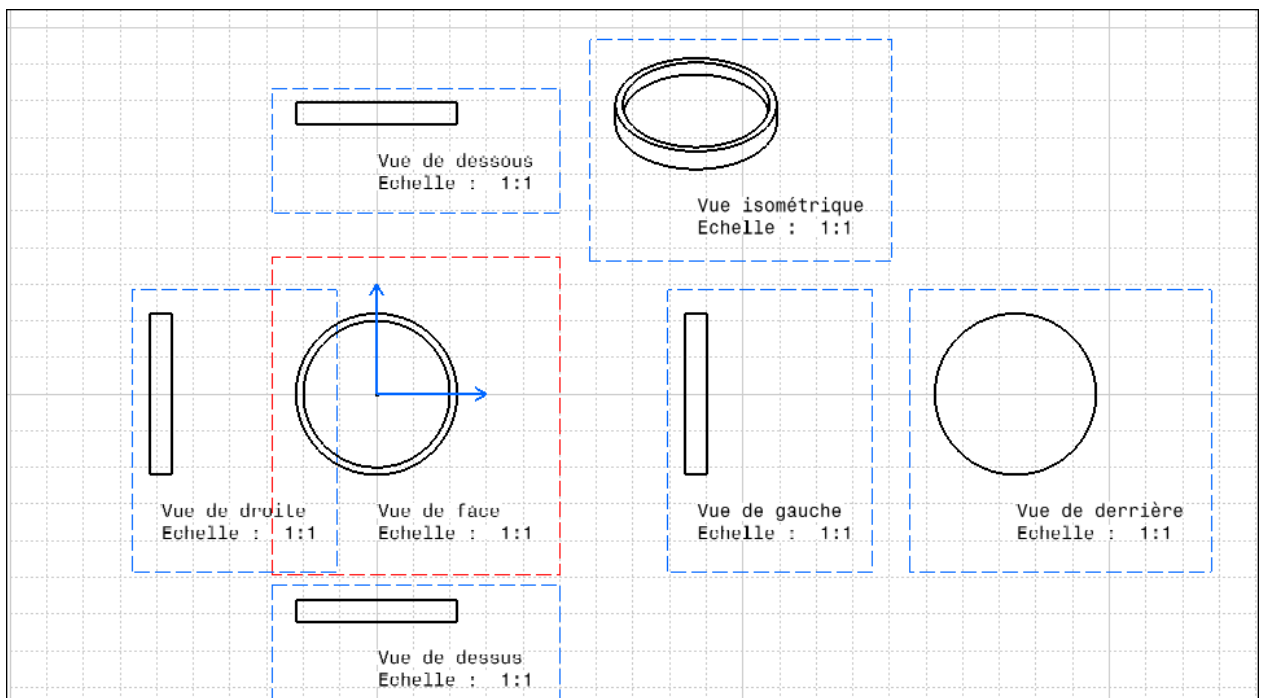


Figure 2.39 : mise en plan de pièce de fixation de support de Kinect

II.10.14. Conception de support rotatif :

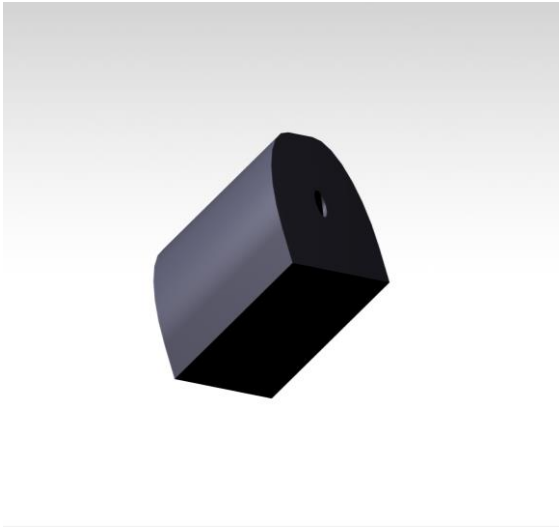


Figure 2.40 : conception de support rotatif

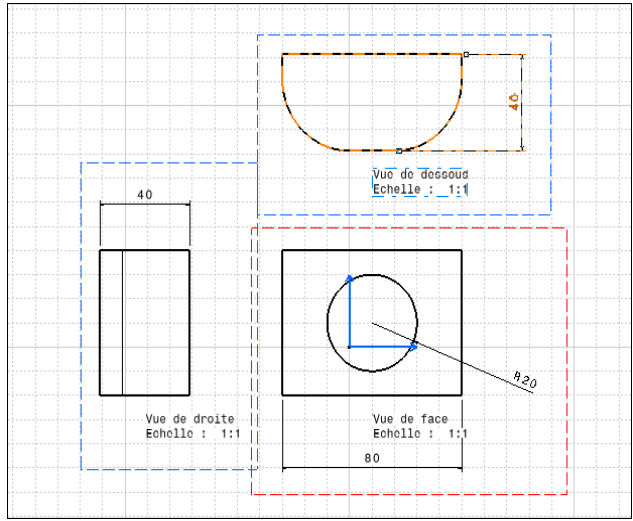


Figure 2.41 : les cotations de support rotatif

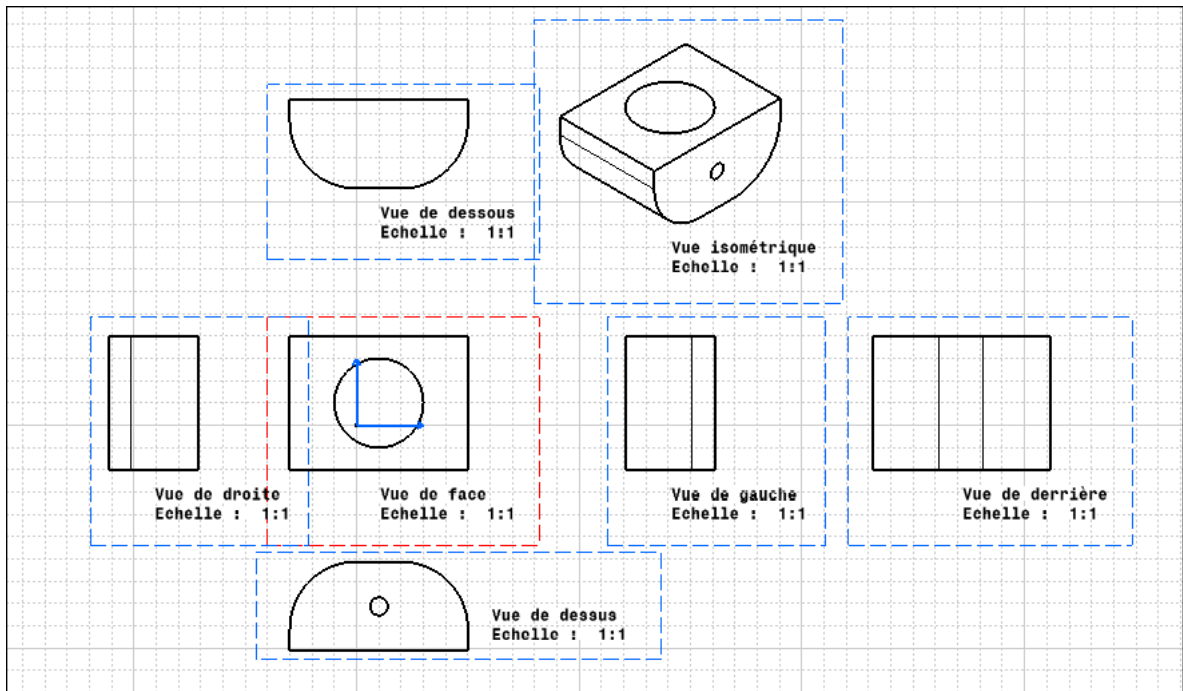


Figure 2.42 : mise en plan de support rotatif

II.10.15. Conception de support de disque rotatif :

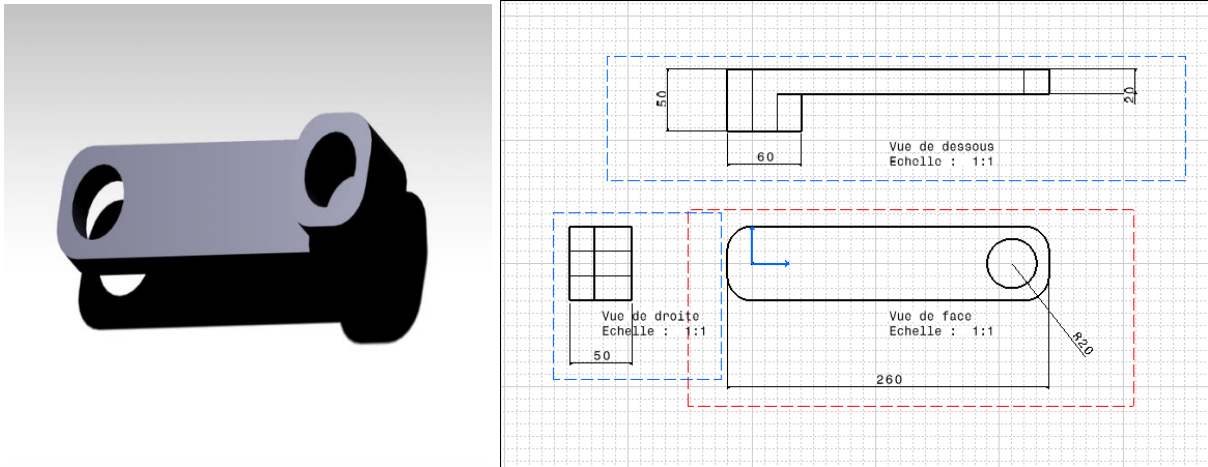


Figure 2.43 : conception de support de disque rotatif

Figure 2.44 : Les cotations de support disque rotatif

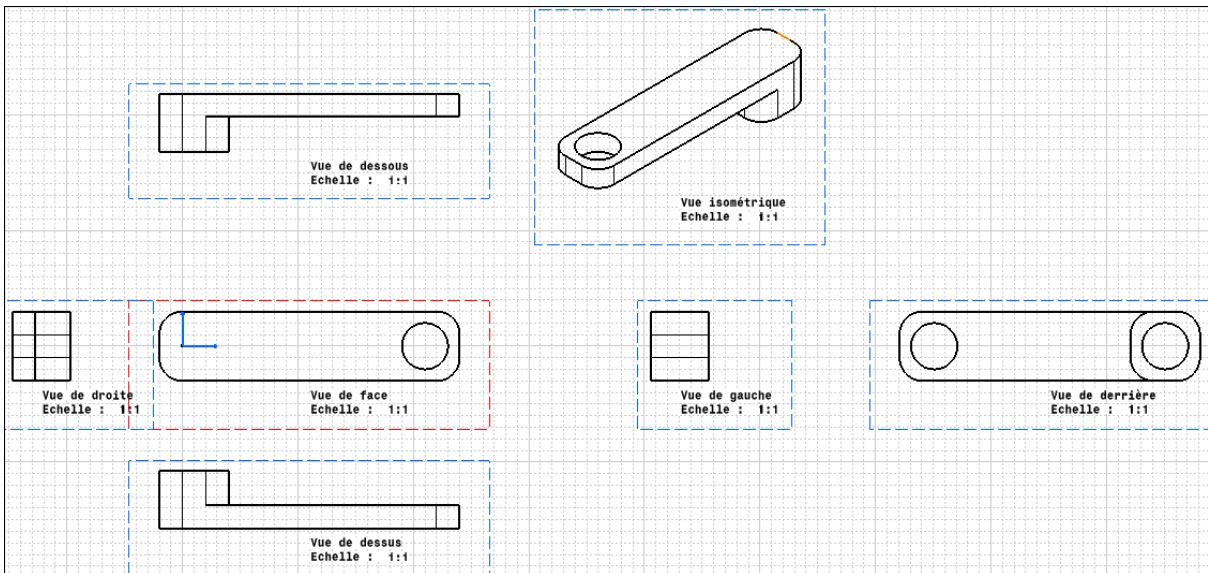


Figure 2.45 : mise en plan de support de disque rotatif

II.10.16. Assemblage de scanner 3D :

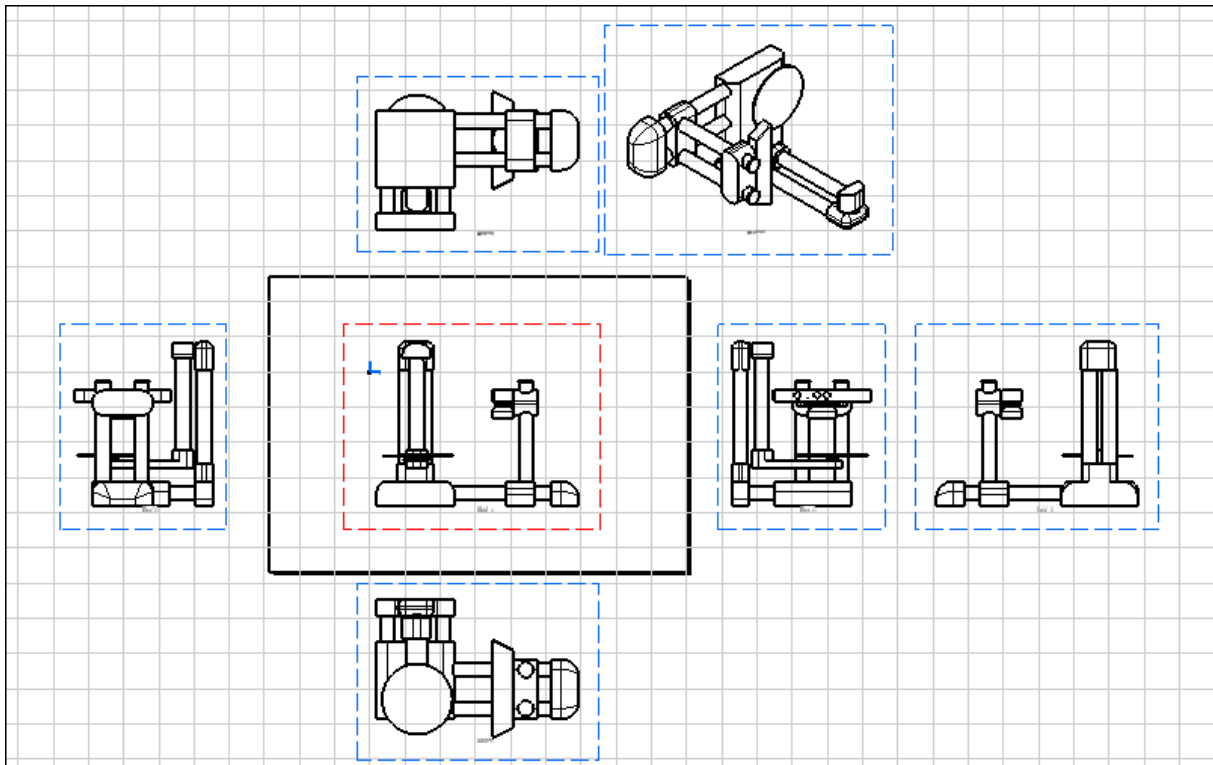


Figure 2.46 : mise en plan de différent vue de scanner 3D

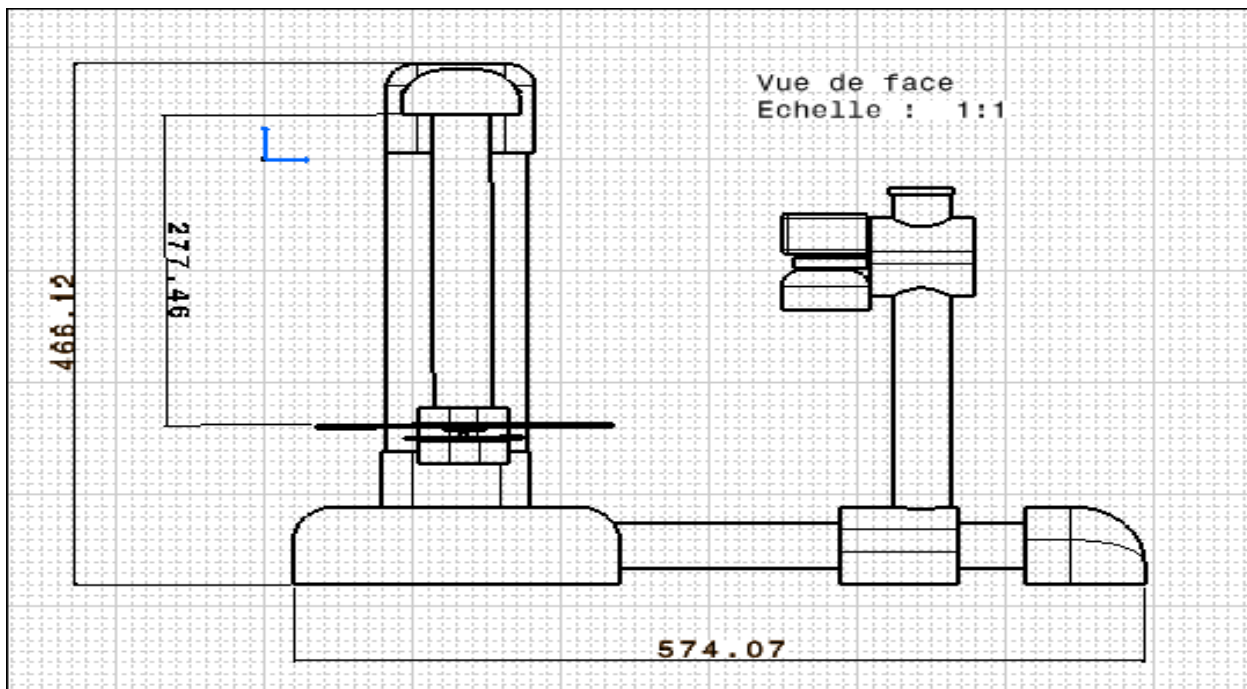


Figure 2.47 : les cotations de scanner 3D

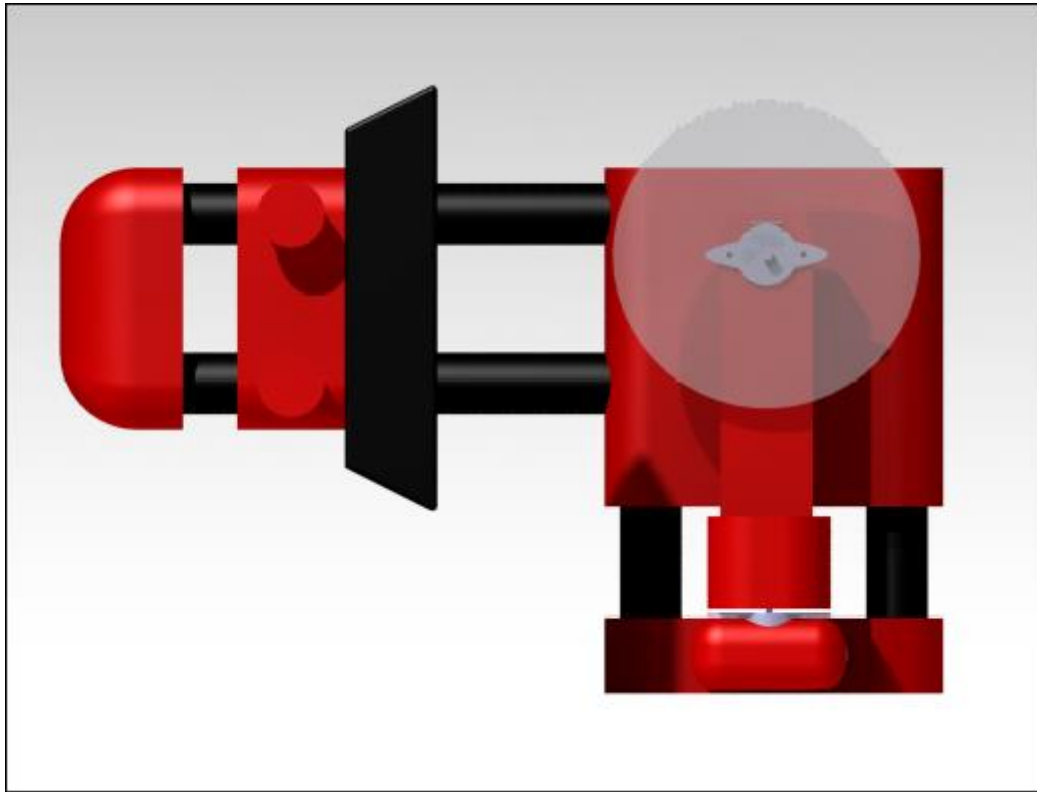


Figure 2.48 : Vue de de dessous de scanner 3D

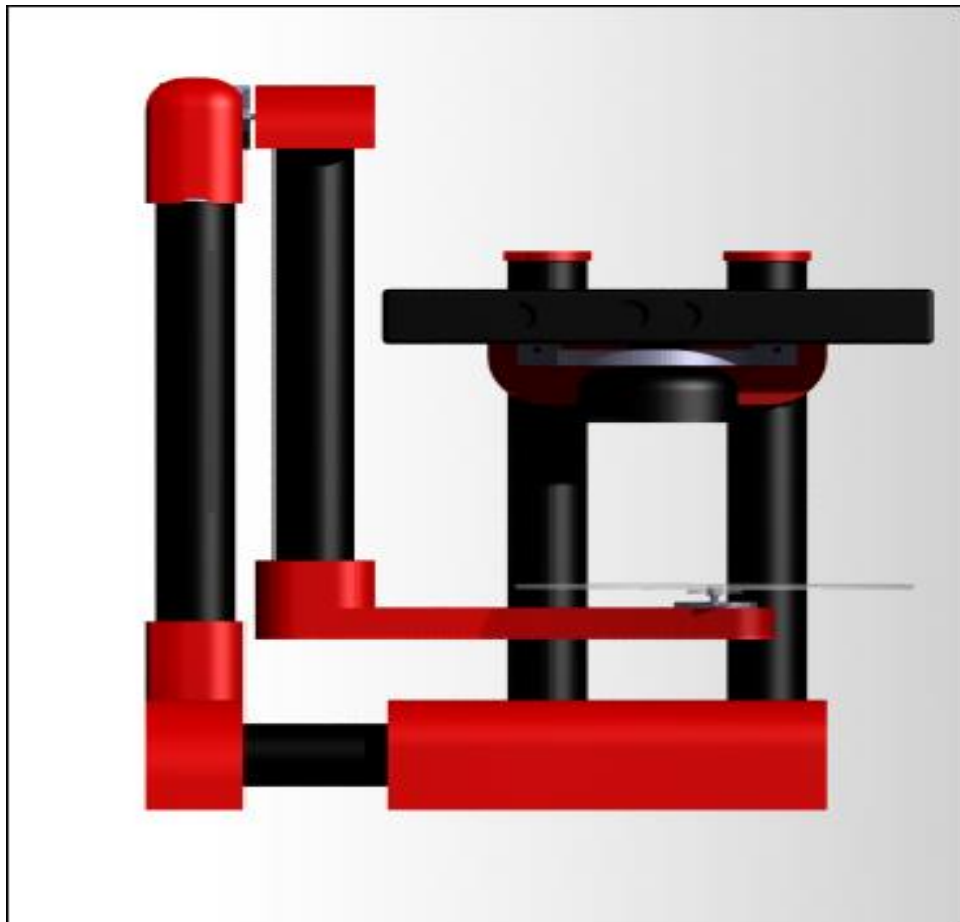


Figure 2.49 : vue de face de scanner 3D



Figure 2.50 : conception de scanner 3D

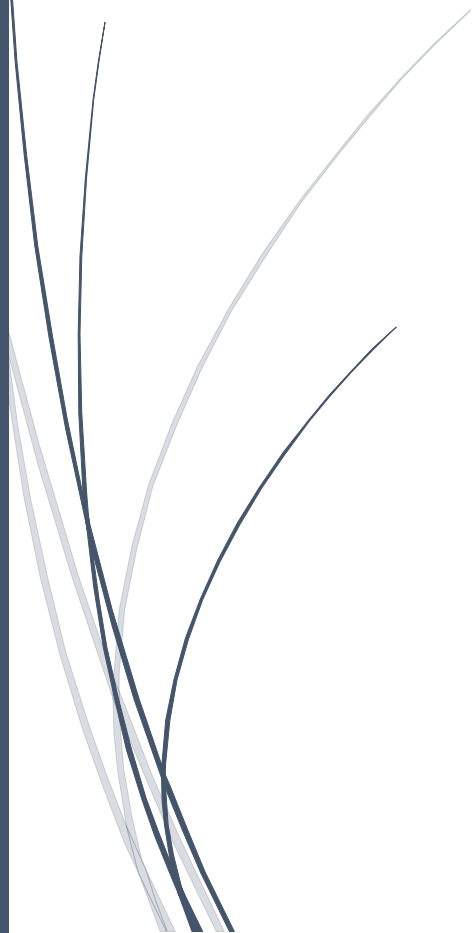
II.11. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons montré la conception pour chaque pièce afin d'utiliser les différentes fonctions géométriques de l'application, ce qui nous a permis d'un côté d'appliquer nos connaissances acquises lors de notre formation de l'outil de CAO CATIA V5, de l'autre côté ceci nous a permis d'apprendre les fonctions les plus avancées de CATIA V5 tel que l'assemblage.



Chapitre III

Réalisation



III.1. Introduction :

Dans tout type de projet de construction, une bonne planification est essentielle pour obtenir un bon résultat. De la conception à l'inspection finale, la documentation 3D de chaque phase aide à éviter les erreurs coûteuses de retouche. De nombreux travaux ont adopté le scanner 3D pour la modélisation 3D et la documentation du tel que construit. Nous devons donc faire dans ce chapitre une étude consiste sur la réalisation de notre scanner 3D, nous allons présenter en premier lieux les différents matériels qu'on a utilisés avec un aperçu des logiciels approuvés, en suite, en présentant la réalisation pratique de système.

D'abord nous donnons des définitions des différents composants comme la carte Arduino en particulier et la carte Arduino mega que nous avons adoptée dans notre travail en présentant ses caractéristiques, et son principe de fonctionnement, les moteurs pas à pas avec ses différents types, en suite la présentation des composants de KINECT, ses caractéristiques et ses principes de fonctionnement. Puis, nous allons définir les différents logiciels qu'on a besoin pour réaliser notre travail: logiciel Arduino, SDK et ReconstructMe.

La partie suivante est consacrée à la réalisation pratique d'un scanner 3D grâce à la liaison de deux moteurs les uns avec les autres, ce qui est contrôlés par une carte de pilotage Motor Shield I293d, qui permet de faire l'intermédiaire entre le moteur et la carte Arduino, cette dernière est reliée de son tour à la carte Motor shield d'un côté et à l'ordinateur d'un autre côté, ainsi avec une alimentation extérieure.

Afin de réaliser ce que nous allons faire, nous avons sélectionné les matériels et les logiciels qui nous aident à obtenir de bons résultats, ils s'agissent de :

III.2. Matériels utilisés :

Dans ce travail nous avons utilisé des différents matériaux qui nous permettent d'atteindre l'objectif du travail,

- Une carte Arduino mega
- Motorshield I293d
- Kinect xbox360
- 2 moteurs pas à pas
- Transformateur 220v-12v
- 4 boutons poussoir

III.2.1.Arduino :

L'Arduino est un circuit imprimé en matériel libre sur lequel se trouve un microcontrôleur qui peut être programmé pour analyser et produire des signaux électriques, de manière à effectuer des tâches très diverses comme la domotique le pilotage d'un robot, etc. C'est une plateforme basée sur une interface entrée/sortie simple. Il était destiné à l'origine principalement mais pas exclusivement à la programmation multimédia interactive en vue de spectacle ou d'animations artistiques. C'est une partie de l'explication de la descendance de son interface de programmation de Processing, lui-même inspiré de l'environnement de programmation Wiring1. Arduino peut être utilisé pour construire des objets interactifs indépendants (prototypage rapide), ou bien peut être connecté à un ordinateur pour communiquer avec ses logiciels [19].

III.2.1.1.Description de la carte Arduino mega :

L'Arduino Mega est une carte microcontrôleur basé sur l'ATmega1280. Il dispose de 54 broches numériques d'entrée / sortie (dont 14 peuvent être utilisées comme sorties PWM), 16 entrées analogiques, 4 UART (ports série matériels), une MHz oscillateur en cristal de 16, d'une connexion USB, une prise d'alimentation, d'une embase ICSP et un bouton de réinitialisation. Il contient tout le nécessaire pour soutenir le microcontrôleur, il suffit de le connecter à un ordinateur avec un câble USB ou avec un adaptateur AC-DC ou batterie pour commencer. Le Mega est compatible avec la plupart des boucliers conçus pour l'Arduino Duemilanove ou Diecimila [14]

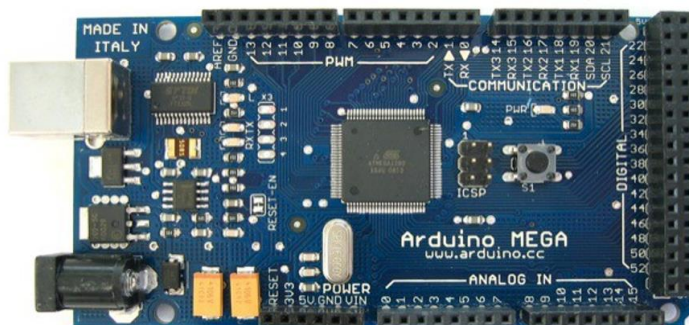


Figure 3.1 : Arduino mega

Chapitre III :

Le tableau suivant donne les caractéristiques d'Arduino mega

Microcontrôleur	ATmega2560
Tension de fonctionnement	5V
Tension d'alimentation (recommandée)	7-12V
Tension d'alimentation (limites)	6-20V
Broches E/S numériques	54 (dont 14 disposent d'une sortie PWM)
Broches d'entrées analogiques	16 (utilisables en broches E/S numériques)
Intensité maxi disponible par broche E/S (5V)	40 mA (ATTENTION : 200mA cumulé pour l'ensemble des broches E/S)
Intensité maxi disponible pour la sortie 3.3V	50 mA
Intensité maxi disponible pour la sortie 5V	Fonction de l'alimentation utilisée - 500 mA max si port USB utilisé seul
Mémoire Programme Flash	256 KB dont 8 KB sont utilisés par le bootloader
Mémoire SRAM (mémoire volatile)	8 KB
Mémoire EEPROM (mémoire non volatile)	4 KB
Vitesse d'horloge	16 Hz

Tableau 3.1 : les caractéristiques d'Arduinomega

III.2.1.2. Alimentation :

La carte Arduino Mega 2560 peut être alimentée soit via la connexion USB (qui fournit 5V jusqu'à 500mA) ou à l'aide d'une alimentation externe. La source d'alimentation est sélectionnée automatiquement par la carte.

L'alimentation externe (non-USB) peut être soit un adaptateur secteur (pouvant fournir typiquement de 3V à 12V sous 500mA) ou des piles (ou des accus). L'adaptateur secteur peut être connecté en branchant une prise 2.1m positif au centre dans le connecteur jack de la carte. Les fils en provenance d'un bloc de piles ou d'accus peuvent être insérés dans les connecteurs des broches de la carte appelées GND (masse ou 0V) et Vin (Tension positive en entrée) du connecteur d'alimentation.

La carte peut fonctionner avec une alimentation externe de 6 à 20 volts. Cependant, si la carte est alimentée avec moins de 7V, la broche 5V pourrait fournir moins de 5V et la

Chapitre III :

carte pourrait être instable. Si on utilise plus de 12V, le régulateur de tension de la carte pourrait chauffer et endommager la carte. Aussi, la plage idéale recommandée pour alimenter la carte Uno est entre 7V et 12V [14]

III.2.1.3.Mémoire :

L'ATmega 2560 à 256Ko de mémoire FLASH pour stocker le programme (dont 8Ko également utilisés par le bootloader). L'ATmega 2560 a également 8 ko de mémoire SRAM (volatile) et 4Ko d'EEPROM (non volatile - mémoire qui peut être lue à l'aide de la librairie EEPROM).

Pour info : Le bootloader est un programme préprogrammé une fois pour toute dans l'ATméga et qui permet la communication entre l'ATmega et le logiciel Arduino via le port USB, notamment lors de chaque programmation de la carte [14].

III.2.2.Motor shield v1 :

Un shield est une carte qui vient se positionner directement sur notre Arduino. Il nous permet d'utiliser certaines fonctionnalités qui lui sont propres, tout en nous laissant la possibilité de continuer à utiliser les pins libres. Il est possible d'empiler plusieurs shields sur un seul Arduino

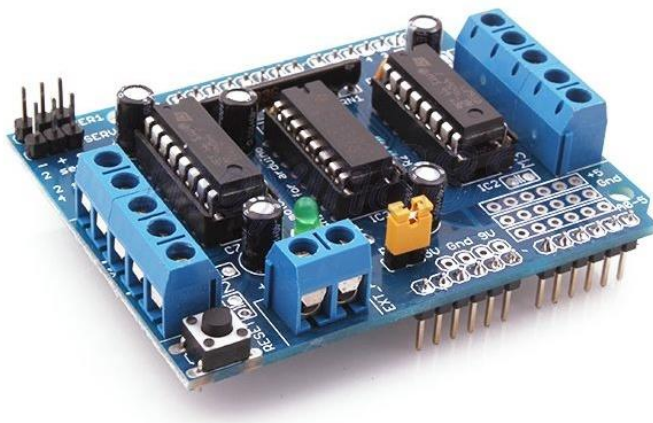


Figure 3.2 :motor shield

III.2.2.1. Caractéristiques :

- 2 interfaces pour servomoteurs 5V, connectés au timer haute résolution de l'Arduino.
- Peut piloter 4 moteurs à courant continu DC, ou 2 moteurs pas à pas, ou 2 servo à la fois.
- Jusqu'à 4 moteurs DC bi-directionnels avec sélection de la vitesse individuelle (sur 8 bit).
- Jusqu'à 2 moteurs pas à pas (unipolaire ou bipolaire) avec une seule bobine, double bobine, ou demi-pas.
- 4 ponts en H (H-Bridges).
- Fournit 0,6 A par pont (1.2A en courant de crête) avec protection thermique.
- Pilotage des moteurs à courant continu de 4.5V à 36V.
- Des résistances pull down désactivent les moteurs au cours de la mise sous tension.
- Bouton de réinitialisation (Reset).
- 2 interfaces d'alimentation pour séparer la partie logique de la partie puissance (moteurs).
- Compatible avec les cartes ArduinoMega, Diecimila&Duemilanove [15].

III.2.3. Moteur pas à pas

III.2.3.1. Pourquoi des moteurs Pas à Pas ?

- **Avantage :**
 - Rotation constante pour chaque commande (précision meilleure que 5% d'un pas).
 - Existence de couple à l'arrêt.
 - Contrôle de la position, de la vitesse et synchronisation de plusieurs moteurs (pas de besoin de contre-réaction).
 - Moteur sans balais.
- **Inconvénients :**
 - Plus difficile à faire fonctionner qu'un moteur à courant continu.
 - Vitesse et couple relativement faible.
 - Couple décroissant rapidement lorsque la vitesse augmente.
 - Résonance mécanique

III.2.3.2. Les différents types de moteurs Pas à pas

Il y a 3 types de moteur pas à pas :

- **A réluctance variable** : On ne sent pas les pas. A caractéristique électrique identique, un tel moteur est moins puissant, mais plus rapide que les moteurs à aimant permanent. Sans doute les plus anciens.
- **A aimants permanents** : on sent les pas. Ce sont des moteurs à faible coût de revient, et de résolution moyenne (jusqu' à 100 pas/tour).
- **Les hybrides** : Ces moteurs combinent les 2 technologies précédentes, et sont plus chers. Leur intérêt réside dans un meilleur couple, une vitesse plus élevée, et une résolution de 100 à 400 pas/tour.

Les moteurs les plus courants sont ceux à aimants permanents et les hybrides.

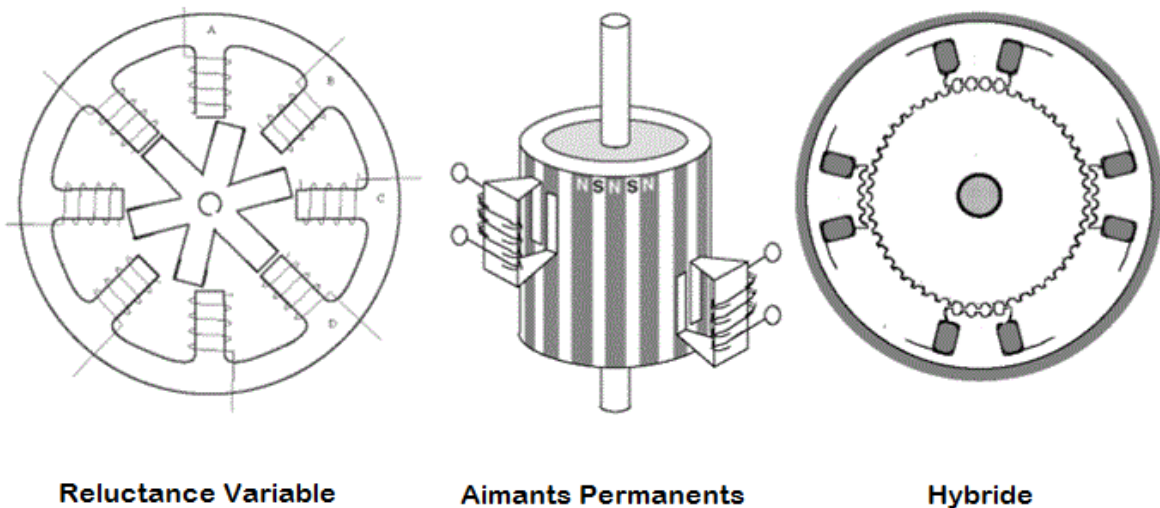


Figure 3.3 : les types de moteurs

III.2.3.3. les moteur pas à pas Unipolaires et Bipolaires

Bipolaires :

4 fils, avec 2 bobines indépendantes (appelé «2 phases »).

Unipolaires :

-5 fils, 1 commun aux 4 bobines, plus un par bobine.

-6 fils, 2 bobines avec point milieu (parfois appelé «2 phases »).

-8 fils, 4 bobines indépendantes, également appelé universel.

-Par abus de langage, ces moteurs sont tous appelés «4 phases

III.2.3.4.Comparaison des types de Pas à pas :

. Bipolaire :

-Puissance disponible plus élevée pour à caractéristiques mécaniques identiques.

. Unipolaire :

-Les moins chers

-Plus facile à mettre en œuvre. C'était surtout vrai avant l'arrivée de circuits intégrés spécialisés.

Caractéristique des moteurs bipolaires que nous avons utilisés

Article	M42SP-6NK	
Tension nominale	DC 12V	DC 24V
Tension de travail	DC 10.8~13.2V	DC 21.6~26.4V
Courant nominal / Phase	400mA(PEAK)	
Nombre de phases	2 Phases	
Résistance DC de la bobine	5Ω/phase±7%	
Angle d'étape	7.5°/pas	
Méthode d'excitation	2-2 Phase excitation (Bipolar driving)	
Classe d'isolation	Class E isolation	
Couple de maintien	39.2mN·m	39.2mN·m

Couple de retrait Pull-out Torque	23.2mN·m/800pps	17.4mN·m/2,000pps
Couple de traction Pull-in Torque	27.1mN·m/200pps	26.2mN·m/200pps
Max. Taux de pulsation	2,000pps	3,900pps
Max. Fréquence d'impulsion	700pps	700pps

Tableau 3.2 : caractéristique de des moteurs bipolaires utilisés

III.2.4.Kinect Xbox 360

Il s'agit d'une caméra utilisant des techniques d'interaction développées par la société PrimeSense, Elle a longtemps été nommée par son nom de code « Project Natal » avant d'être officialisée et baptisée juste avant un grand salon dédié aux jeux vidéo, l'E3, sous le nom Kinect. Elle est connectée via un périphérique d'entrée directement branché sur la console de Microsoft, la Xbox 360. Ce qui permet d'interagir par commande vocale, reconnaissance de mouvement et d'image.

On peut ainsi jouer sur des jeux spécialement développés pour cette technologie sans aucune manette ni périphérique mais seulement avec son corps [18].

III.2.4.1.Caractéristiques :

III.2.4.1.1.Capteurs :

Capteur Infrarouge associé à un émetteur détectant la profondeur et un capteur RGB détectant la couleur. Les capteurs sont tous motorisés ainsi que le socle pour permettre un suivi des déplacements.

III.2.4.1.2.Champ de vision :

- Champ de vision horizontal : 57 degrés
- Champ de vision vertical : 43 degrés
- Marge de déplacement du capteur : +/- 27 degrés grâce au socle
- Portée du capteur : 1,2 m – 3,5 m (à partir de 50 cm pour la version Kinect for Windows)

III.2.4.1.3.Flux de données :

- 320 x 240 en couleur 16 bits à 30 images par seconde pour le capteur infrarouge
- 640 x 480 en couleur 32 bits à 30 images par seconde pour le capteur couleur

Chapitre III :

- Audio 16 bits à 16 KHz grâce aux 4 microphones

III.2.4.1.4. Système de reconnaissance physique :

- Jusqu'à 6 personnes et 2 joueurs actifs (4 joueurs actifs avec le SDK 1.0)
- 20 articulations par squelette
- Application des mouvements des joueurs sur leurs avatars Xbox Live

III.2.4.1.5. Audio :

- Chat vocal Xbox Live et chat vocal dans les jeux vidéo
- Suppression de l'écho
- Reconnaissance vocale multilingue

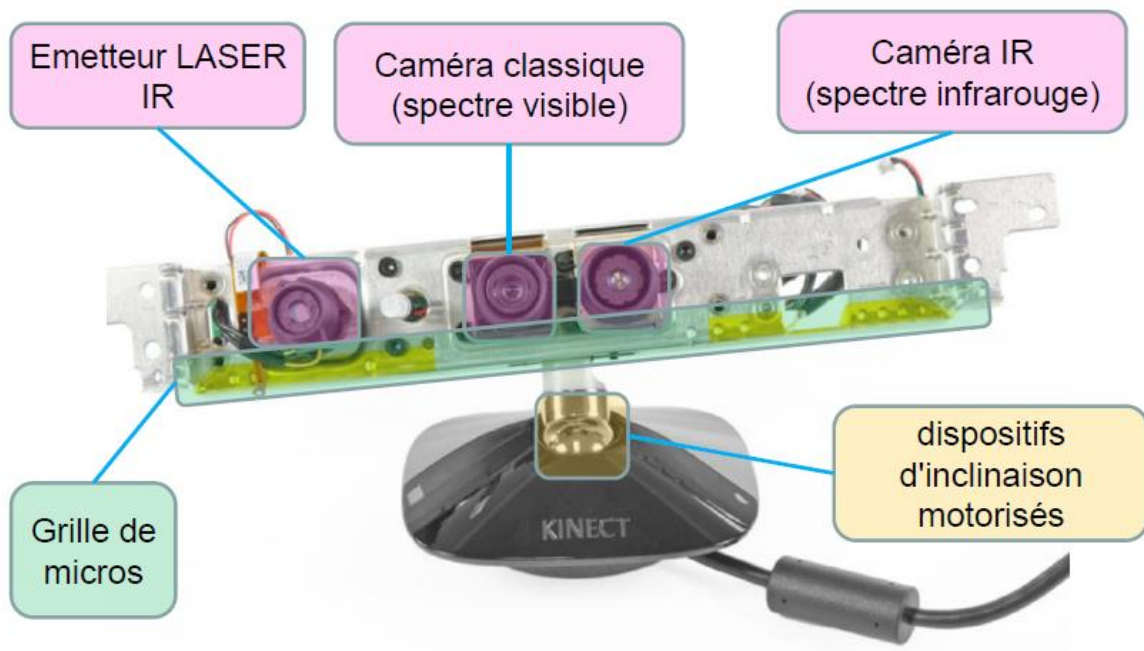


Figure 3.4 : La Kinect

III.2.4.2. Les différents capteurs de la Kinect :

Il y a deux types de capteur dans la Kinect :

III.2.4.2.1. Le capteur RGB

Le capteur se situe sur la face avant de la Kinect, pour la prise d'images la caméra est couplée avec un capteur CMOS, qui permet de capter les images à une vitesse de 30 images par seconde avec une résolution VGA (Vidéo Graphics Array) de 640x480 pixels. Le système

Chapitre III :

RGB est simple, il combine les 3 couleurs primaires tels que le rouge, le vert et le bleu, suivant l'association de ces 3 couleurs on peut obtenir une image blanche ou un panel infini de couleur qui se situe dans le spectre visible de l'œil humain.

Ensuite nous pouvons parler du capteur photographique de type CMOS utilisé dans la Kinect. Ces capteurs sont de l'intégration de cellules composées d'une photodiode et d'une logique d'amplification puis d'obturation. Ils sont complexes à fabriquer mais sont produits selon des techniques classiques de micro-électronique et de ce fait peuvent avoir des résolutions très importantes (jusqu'à 24 mégapixels). Comme beaucoup de capteur, les capteurs CMOS pour l'imagerie couleur sont associés à un filtre coloré et un réseau de lentilles dû à la faible surface de la photodiode, la seule zone sensible.

Le capteur CMOS se compose d'une matrice de cellules photosensibles qui conservent leur charge et les transfèrent elles-mêmes au convertisseur, là ou d'autres capteurs comme le CCD se compose d'une matrice de cellules photosensibles qui transfèrent la charge vers un collecteur qui transfère à son tour l'ensemble des charges vers le convertisseur.

Le capteur CMOS a l'avantage de ne pas transmettre une simple charge. Son photosite intègre un amplificateur de tension lui permettant de convertir lui-même la charge électrique reçue.

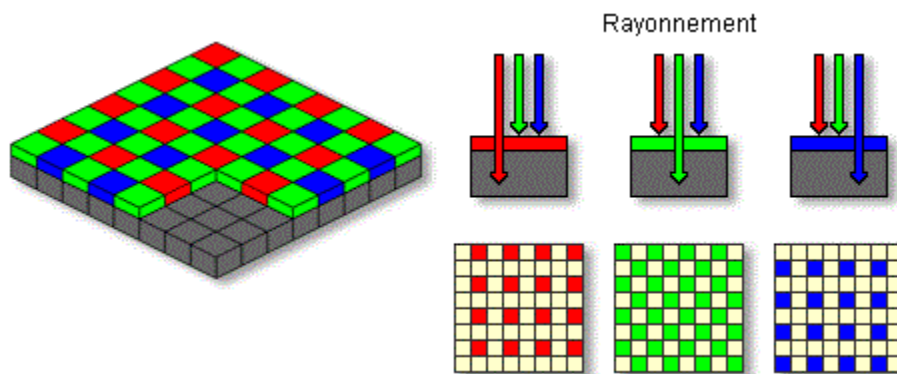


Figure 3.5: Capteur CMOS recouvert d'une grille photosensible de Bayer

Les capteurs CMOS fonctionnent par champ de photodiode (PD) disposé en grille de Bayer, chacune étant sensible à une seule des couleurs primaires (rouge, vert, bleu). C'est un champ de « 0 » ou « 1 » qui recouvre alors le capteur. C'est donc une combinaison des valeurs de chaque photodiode qui permet d'obtenir la couleur estimée de chaque pixel [18].

Le schéma suivant résume le principe du système RGB et les processus pour l'acquisition d'une image avec un haut contraste et de très bonnes couleurs.

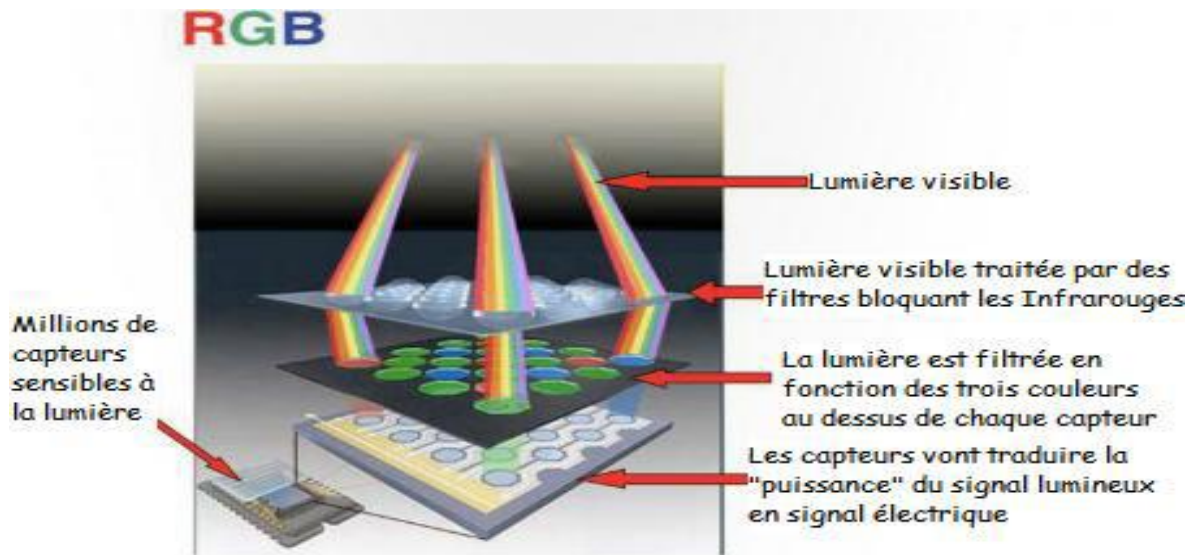


Figure 3.6 : Processus du système RGB

III.2.4.2.2. Capteur et émetteur Infrarouge

Un capteur CMOS infrarouge fonctionne quasiment de la même manière qu'un capteur CMOS RGB sauf qu'il laisse uniquement passer les infrarouges grâce à un filtre. Voyons comment le dispositif infrarouge de Kinect fonctionne.

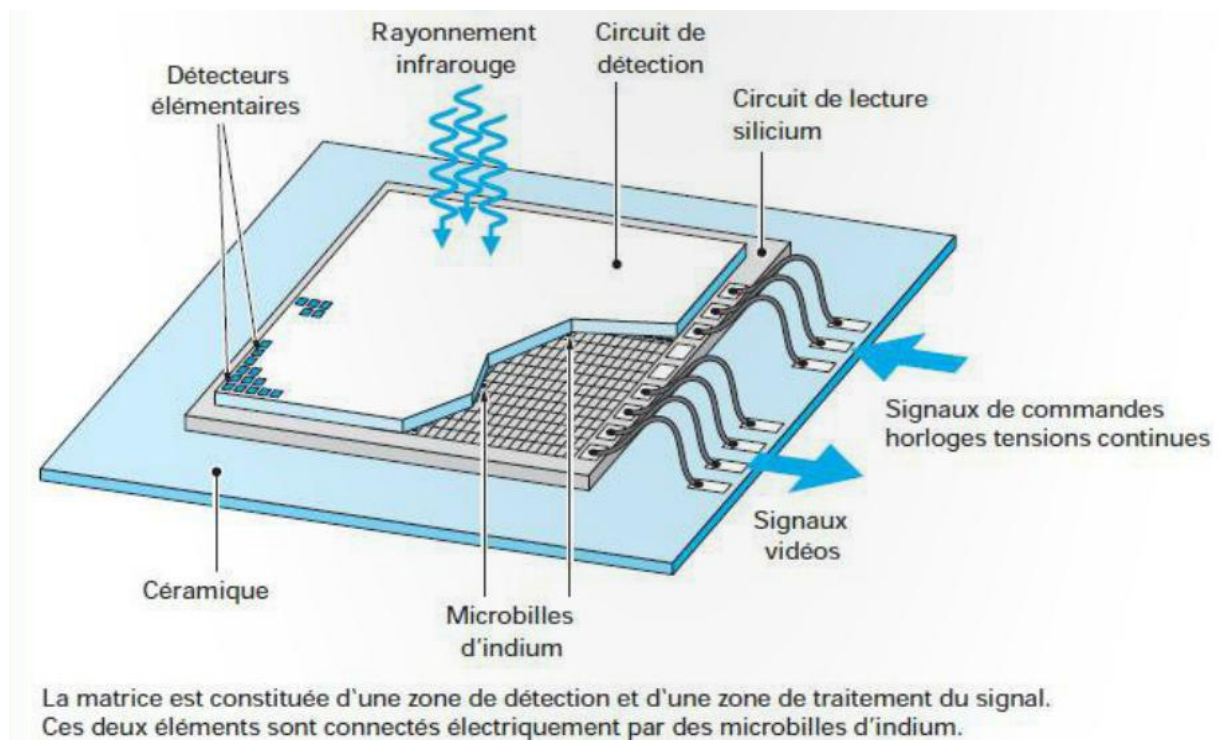


Figure 3.7 : Capteur CMOS infrarouge

Chapitre III :

Actuellement, la majorité des matrices de détecteurs infrarouges est conçue comme sur la figure 4, c'est-à-dire en suivant une architecture dite hybride constituée de deux éléments distincts :

1. Une zone de détection constituée de $M \times N$ détecteurs élémentaires dont le rôle consiste à transformer le flux de photons infrarouge incident en une image « électrique ».
2. Une zone de traitement du signal obtenue à l'aide d'un circuit intégré réalisé en silicium. Ce circuit, appelé circuit de lecture sert à collecter et traiter le signal de chaque détecteur et à le convertir dans un format exploitable par l'électronique de mesure (en générale une tension).

Cette architecture offre deux avantages :

1. Elle permet d'utiliser le silicium, le matériau le mieux adapté pour la détection.
2. Elle permet d'atteindre des facteurs de remplissage optique proches de 100%.

La technique utilisée ici pour connecter point à point la mosaïque de détecteurs élémentaires au circuit de lecture en silicium est un contact électrique par l'intermédiaire de microbilles d'indium [18].

III.2.4.3.Reconstruction 3D :

Nous allons maintenant expliquer comment avec l'émetteur et le capteur infrarouge il est possible de modéliser des scènes en trois dimensions.

III.2.4.4.Principe de mesure de la profondeur par triangulation :

Le capteur Kinect se compose d'un émetteur laser infrarouge, d'une caméra infrarouge et d'une caméra RGB. La mesure de la profondeur se fait par un processus de triangulation. L'émetteur laser émet un faisceau unique qui est subdivisé en faisceaux multiples par un réseau de diffraction afin de créer un modèle constant de mouchetures projetées sur la scène cette tendance est capturée par la caméra infrarouge et est comparée avec un modèle de référence. Le motif de référence est obtenu en capturant un plan à une distance connue du capteur, et est stocké dans la mémoire de la Kinect. Cette configuration de la Kinect est réalisée en usine avant la commercialisation. Quand la nuée de points est projetée sur un objet dont la distance au capteur est plus petite ou plus grande que celui du plan de référence alors la nuée de points dans l'image infrarouge est décalée dans la direction de la ligne de base entre le laser projecteur et le centre optique (centre focal, point f) de la caméra infrarouge. Ces

Chapitre III :

changements sont mesurés pour toutes les taches par une simple procédure de corrélation, ce qui donne une image de disparité. Pour chaque pixel la distance de la sonde peut alors être extraite de la disparité correspondante [18].

III.2.4.5. Modèle mathématique et explications :

Le schéma illustre la relation entre la distance d'un objet (point K) et de la sonde par rapport à un plan de référence pour mesurer la disparité (d). Pour exprimer les coordonnées 3D des points de l'objet que nous considérons comme un système de coordonnées de profondeur avec son origine au centre optique de la caméra infrarouge. L'axe Z est orthogonal au plan de l'image vers l'objet, l'axe X est perpendiculaire à l'axe Z dans la direction de la ligne de base (b) entre le centre de la caméra infrarouge et du projecteur laser, et l'axe Y perpendiculaire à X et Z donnant un système de coordonnées.

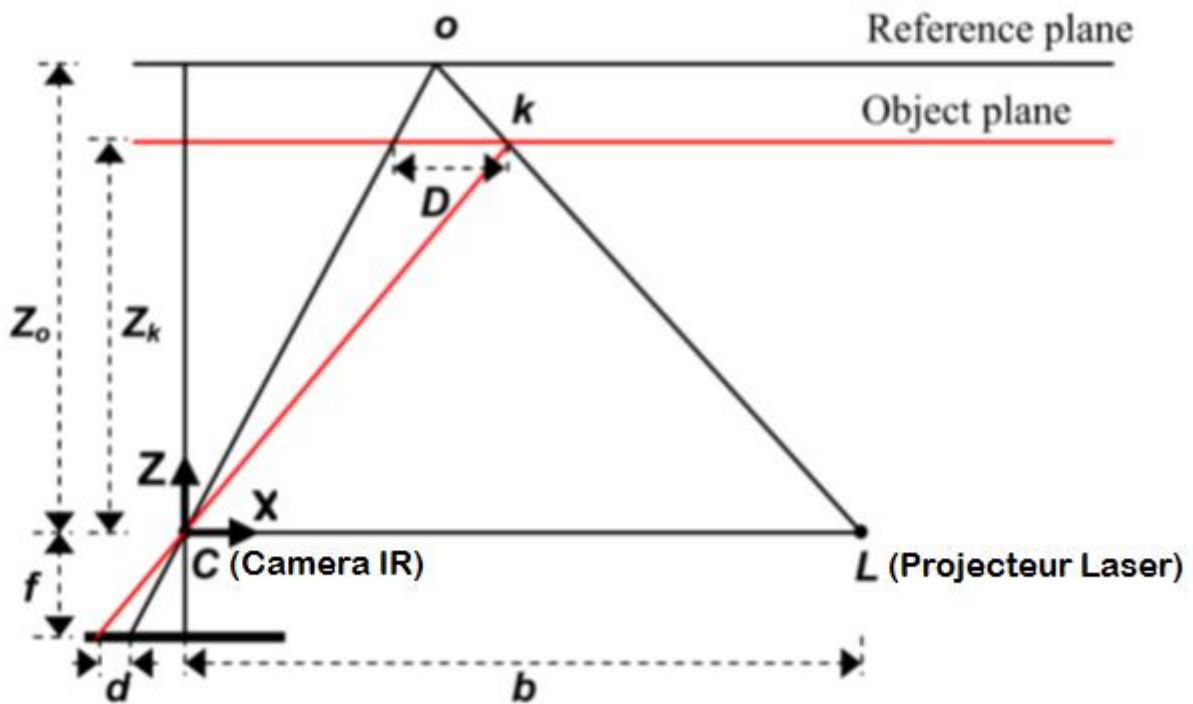


Figure 3.8 : principe de mesure de profondeur

Supposons qu'un objet se trouve sur le plan de référence à une distance de Z_0 du capteur, la nuée de points projetée sur l'objet est capturée sur le plan image de la caméra infrarouge. Si l'objet est déplacé plus près (ou plus loin) de la sonde alors l'emplacement de la nuée de points sur le plan de l'image sera déplacé dans la direction X et sera mesuré en fonction de la disparité et des coordonnées du point K. De Thalès, nous avons :

Chapitre III :

$$\frac{d}{f} = \frac{D}{Z_k} (1) \quad \frac{D}{b} = \frac{Z_0 - Z_k}{Z_0} (2)$$

Où Z_k désigne la distance (profondeur) du point K de l'objet de l'espace, b est la longueur de base, f est la distance focale de la caméra infrarouge, D est le déplacement du point K dans l'espace, et d est la disparité observée dans l'espace image.

En remplaçant D dans les formules (1) et (2), et en exprimant Z_k on obtient :

$$Z_k = \frac{Z_0}{1 + \frac{Z_0}{fb}d} (3)$$

L'équation (3) est le modèle mathématique de base pour l'élaboration de la profondeur à partir de la disparité observée à condition que les constantes Z_0 , F , et b soient déterminées par étalonnage en usine [18].

III.2.4.6. Intégration de la profondeur et de la couleur

L'intégration des données de profondeur et de couleur nécessite que l'orientation de la caméra RGB soit faite par rapport aux coordonnées de profondeur du système. Depuis que nous avons défini le système de coordonnées de profondeur au centre optique de la caméra infrarouge on peut effectuer l'orientation par un étalonnage stéréo des deux caméras.

Les paramètres à estimer sont trois rotations entre le système de coordonnées de la caméra RVB, de la caméra infrarouge, et de la position 3D du centre optique de la caméra RGB dans le système de coordonnées de la caméra infrarouge. En outre, les paramètres d'orientation de l'intérieur de la caméra RGB, c'est à dire la distance focale, la compensation et la distorsion de la lentille doit être estimée. Une fois que ces paramètres sont connus, nous pouvons projeter chaque point 3D du point de l'image RGB, interpoler la couleur, et l'affecter au point [18].

III.3. Logiciels utilisés :

III.3.1. L'logiciel Arduino 1.82 :

Le logiciel de programmation des modules Arduino est une application Java, libre et multiplateformes, servant d'éditeur de code et de compilateur, et qui peut transférer le firmware et le programme au travers de la liaison série (RS-232, Bluetooth ou USB selon le module). Il est également possible de se passer de l'interface Arduino, et de compiler les programmes via l'interface en ligne de commande. Le langage de programmation utilisé est le C++, compilé avec `avr-g++ 3`, et lié à la bibliothèque de développement Arduino, permettant l'utilisation de la carte et de ses entrées/sorties. La mise en place de ce langage standard rend aisé le développement de programmes sur les plates-formes Arduino, à toute personne maîtrisant le C ou le C++ [17].

III.3.2. KinectSDK-v1.8

La gestion du flux de données issues du capteur 3D Kinect est entièrement réalisée par ordinateur, puisqu'aucun bouton sur le capteur ne permet la capture ou l'enregistrement de données. Ainsi, l'installation préalable de « pilotes » effectuant le lien entre l'ordinateur et le capteur est nécessaire. Des bibliothèques de code gratuites téléchargeables sur Internet remplissaient ce rôle, notamment Libfreenect (OpenKinect@) ou encore le pilote OpenNI (Structure@). Cependant.

Chaque applicatif exécutable rend possible la visualisation ou l'accès à une fonctionnalité du capteur. Ainsi par exemple, l'utilisateur peut visualiser en temps réel l'information infrarouge captée par l'appareil, ou encore le flux d'images couleurs perçu. Dans le cadre de nos travaux, nous pourrions être amenés à effectuer des acquisitions successives avec un intervalle de temps très court de l'ordre de la seconde. L'inconvénient majeur de ces outils de visualisation fournis par le SDK est que leurs modalités d'acquisition sont limitées. En effet, ils ne permettent que la réalisation de captures manuelles du flux en temps réel. Ainsi, afin de contrôler au mieux l'enregistrement des flux de données de façon minutée, il a rapidement été décidé de développer une application d'enregistrement grâce aux échantillons de codes disponibles en « open source » dans le SDK [16].

III.3.3. ReconstructMe :

Le concept d'utilisation de ReconstructMe est similaire à celui d'une caméra vidéo ordinaire - il suffit de déplacer l'objet à modéliser en 3D. La numérisation avec les échelles ReconstructMe à partir d'objets plus petits tels que les visages humains jusqu'à des salles entières et fonctionne avec du matériel informatique.

III.4. La mise en mouvement du scanner :

Notre scanner est équipé de trois moteurs. Le premier(A) contrôle la rotation de la plateforme dans la direction verticale sur laquelle est posé l'objet à scanner tandis que le second (B) contrôle la plateforme dans la direction horizontale

Dans notre projet nous avons choisi des moteurs pas à pas bipolaires car ils permettent de disposer d'un couple important.

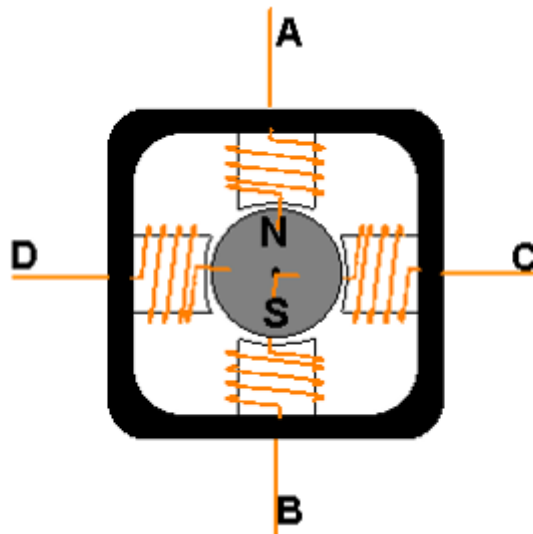


Figure 3.9 :moteur pas à pas bipolaire

Détaillons à présent le contrôle de la rotation des moteurs. Nous utilisons tout d'abord une carte de pilotage Motor shield I293d pour contrôler les moteurs. Elle permet de faire l'intermédiaire entre le moteur et la carte Arduino [19].



Figure 3.10 : Motor Shield I293d

La carte motor shield est ensuite reliée à la carte Arduino, qui est elle-même reliée à l'ordinateur, ainsi qu'à une alimentation extérieure de 12V. Cette alimentation externe a été une source de ralentissements pour notre projet car nous disposions en premier temps d'une alimentation trop faible en amplitude de tension (5V) qui ne fournissait pas assez de puissance aux moteurs A et B. Elle ne permettait donc pas le bon fonctionnement de ceux-ci. Nous avons donc testé l'état de fonctionnement des moteurs avec une alimentation à tension variable, puis après avoir constaté que les moteurs tournaient pour une tension supérieure ou égale à 10V, nous avons retenu une alimentation fournissant 12V. [16]

Les figures (3.11) et (3.12) présentent les divers branchements :

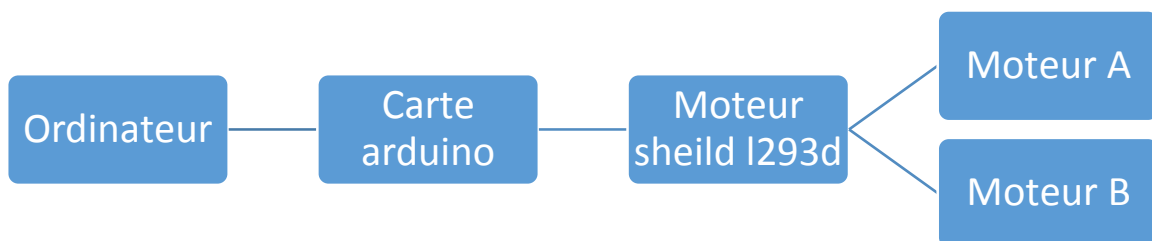


Figure 3.11: Branchements des moteurs

Chapitre III :

Pour contrôler les moteurs nous avons utilisé des boutons poussoir, 2 boutons pour chaque moteur, un bouton pour faire marche en avant et un bouton pour faire marche en arrière.

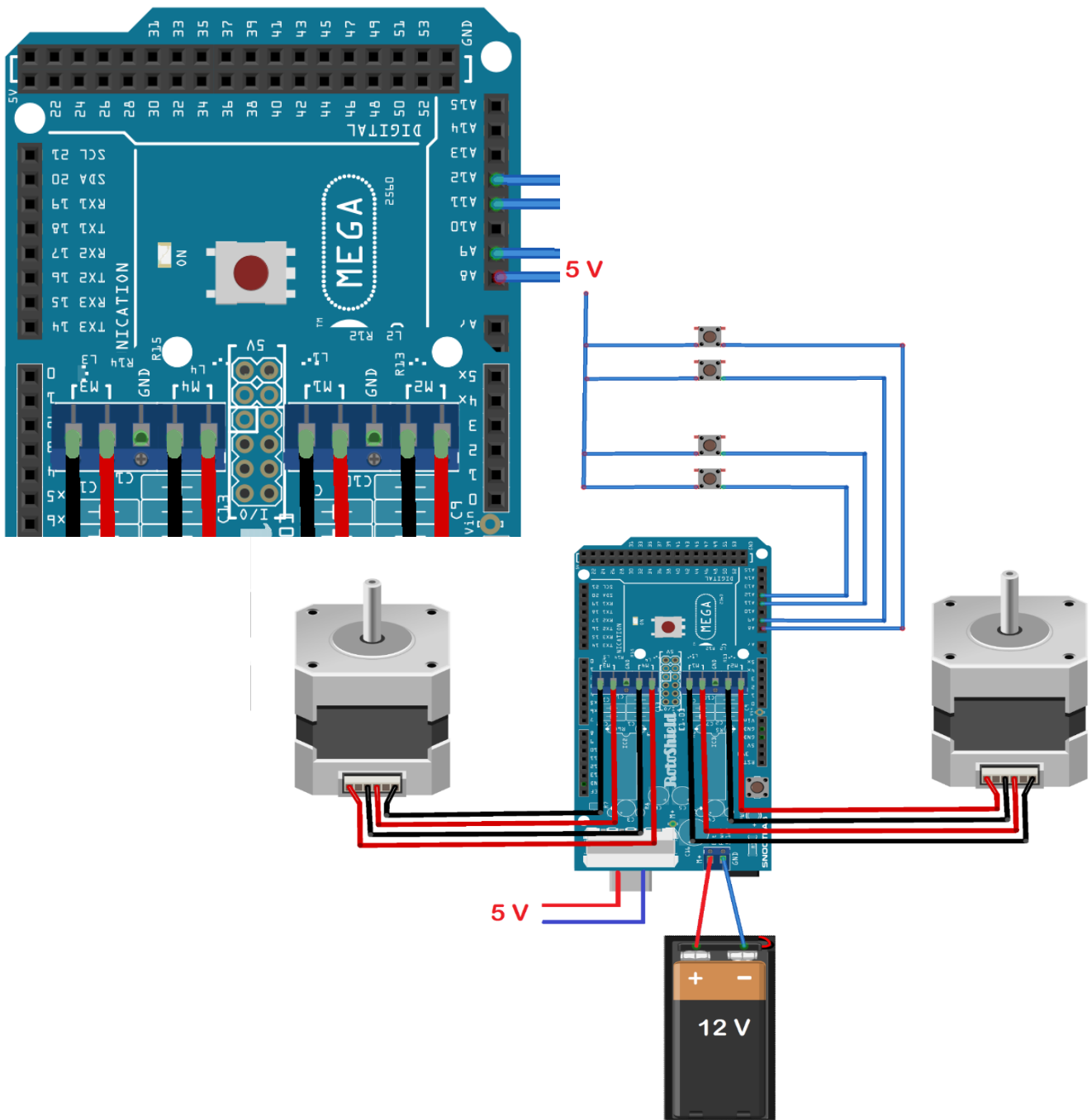


Figure 3.12 : commande et alimentation des moteurs :

Les moteurs sont ensuite contrôlés par une série d'instructions téléchargées sur la carte Arduino. Ces instructions utilisent des variables telles que la vitesse de rotation, la durée de rotation, le nombre de tours effectués pour asservir la position des anneaux lors de la rotation.

III.5. Programme:

```
#include <AFMotor.h>

AF_Stepper motor1(200, 1);

AF_Stepper motor2(200, 2);

boolean buttonState = HIGH ;

int val1 =0;

int val2 =0;

int val3 =0;

int val4 =0;

void setup() {

Serial.begin(9600); // set up Serial library at 9600 bps

motor1.setSpeed(1); // 10 rpm

motor1.release();

Serial.begin(9600); // set up Serial library at 9600 bps

motor2.setSpeed(1); // 10 rpm

motor2.release();

}

void loop(){

// m1

val1 = analogRead(A8);

val2 = analogRead(A9);

if (val1 == 1023)

{

motor1.step(1, FORWARD, MICROSTEP);
```

| Chapitre III :

```
    }  
    if (val2 == 1023)  
    {  
    motor1.step(1, BACKWARD, MICROSTEP);  
    }  
    ///// m2  
    val3 = analogRead(A10);  
    val4 = analogRead(A11);  
    if (val3 == 1023)  
    {  
    motor2.step(1, FORWARD, MICROSTEP);  
    }  
    if (val4 ==1023)  
    {  
    motor2.step(1, BACKWARD, MICROSTEP);  
    }  
}
```


III.6. Résultats :

Notre prototype est complet en termes mécaniques : Nous avons dû apporter des solutions particulières aux différents problèmes de montage qui sont survenus.

La structure est à présent stable et offre les mouvements nécessaires au bon déroulement de la numérisation. Elle permet en effet la rotation de la plateforme ainsi que du support de la lentille. Les moteurs permettant la mise en mouvement sont bien installés sur la structure. Les éléments constituant la liaison mécanique entre le moteur et les structures à mettre en mouvement sont bien montés : il s'agit des courroies et pignons.

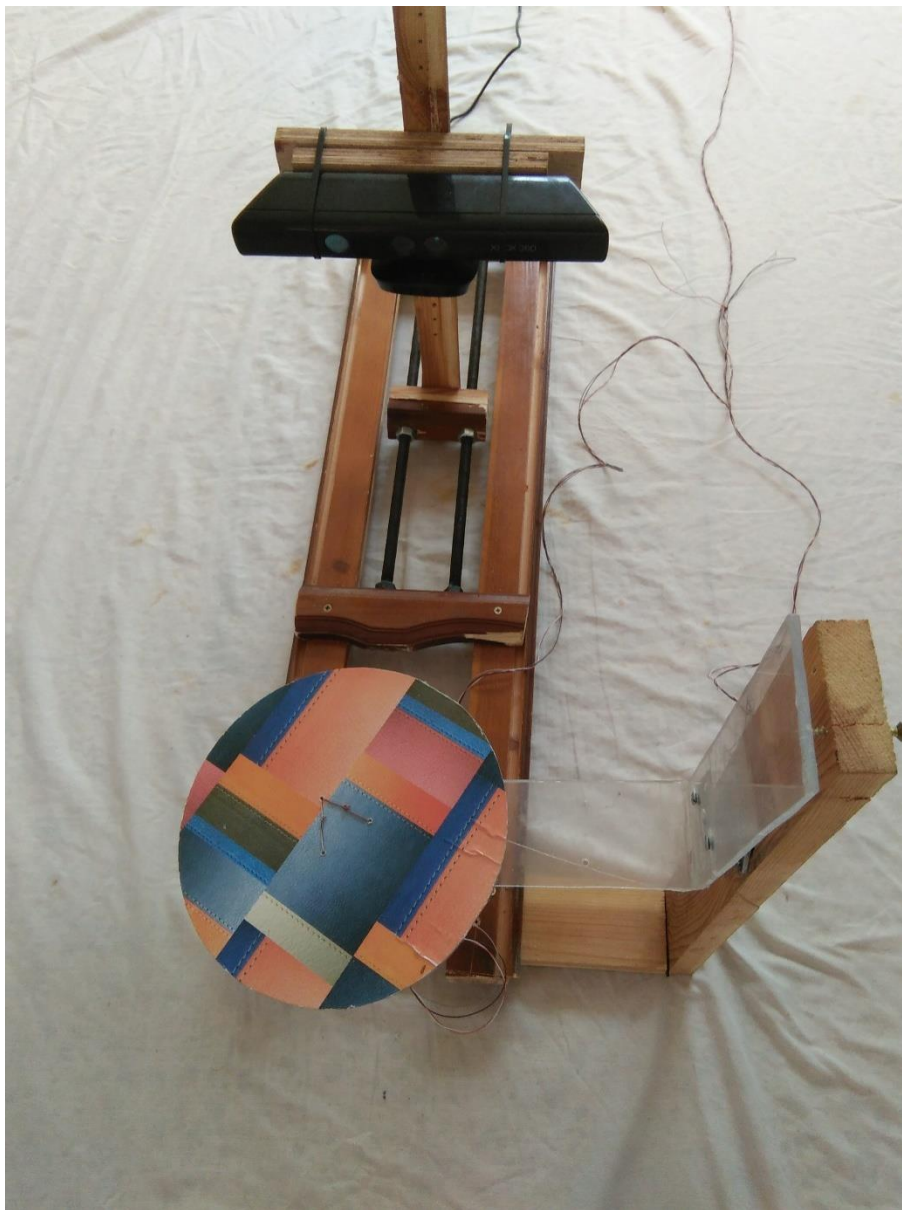


Figure 3.13 scanner 3d réalisé :

Chapitre III :

D'un point de vue informatique, nous avons adapté et relié la caméra kinect avec l'ordinateur pour obtenir des modèles 3d. Pour faire ca, nous avons utilisé un driver de (kinectKinectSDK-v1.8) et un programme de numération, et nous avons choisi ReconstructMe.

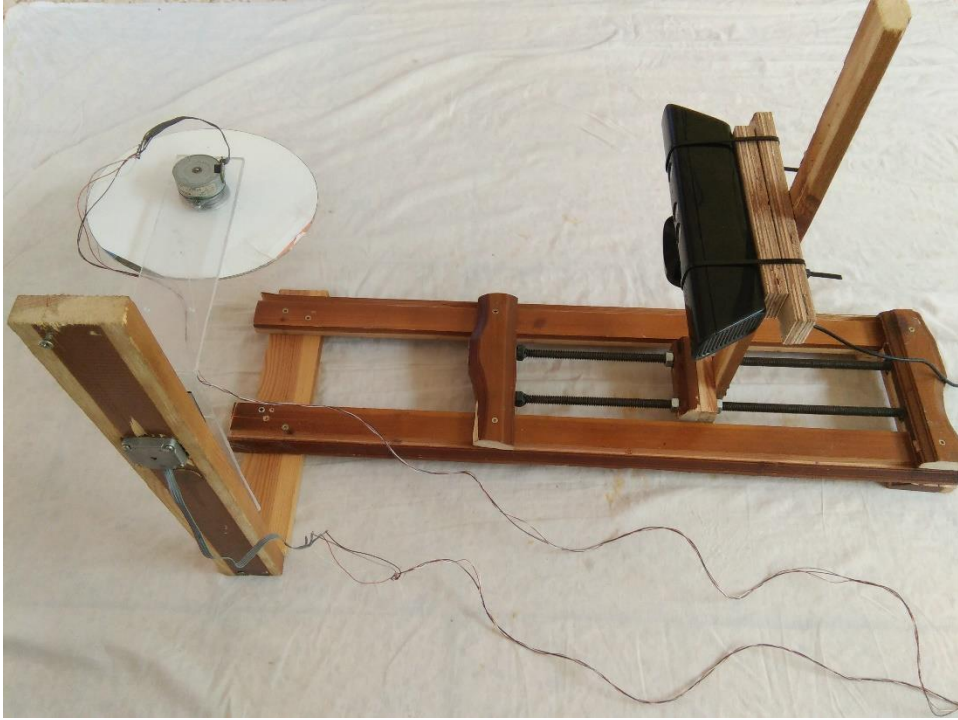


Figure 3.14 scanner 3d réalisé



Figure 3.15 objet scanné

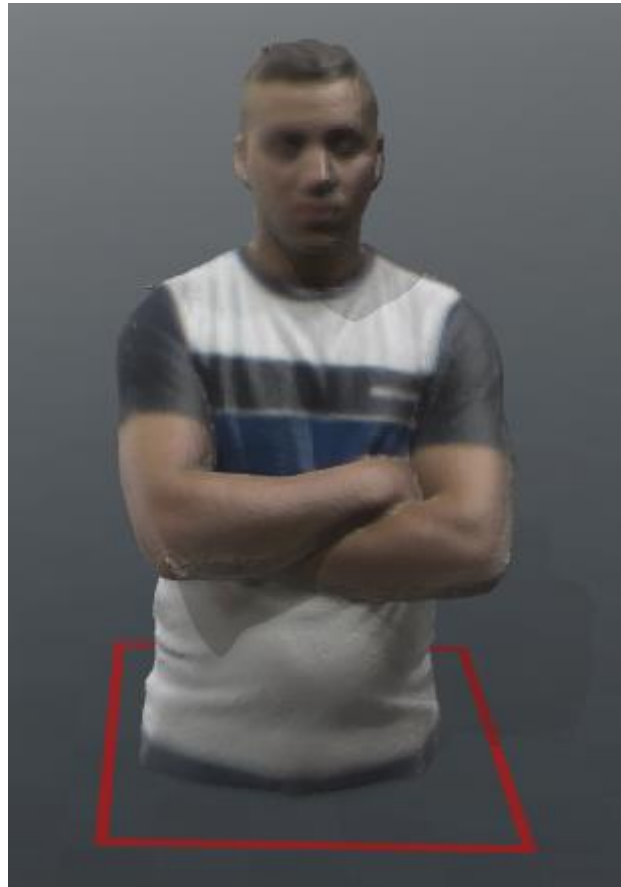


Figure 3.16 perssone scanné

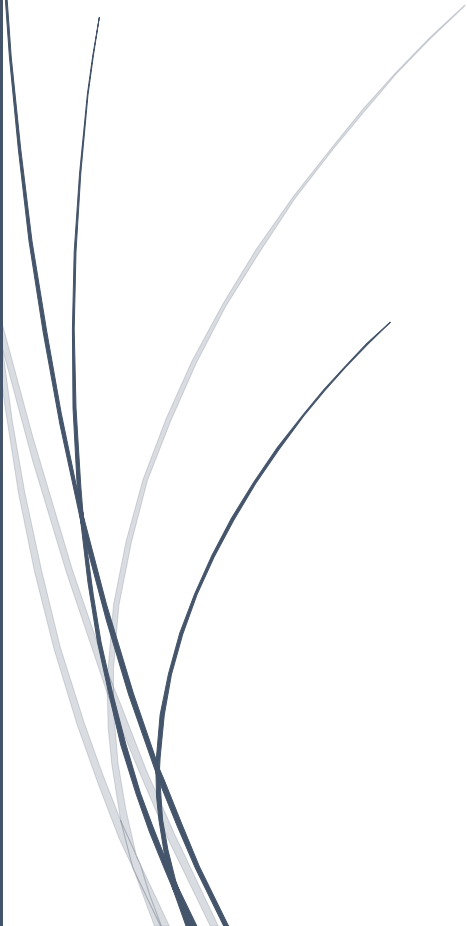
III.7. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté tous les matériaux et les logiciels utilisés, ainsi que ses caractéristiques. Ensuite nous avons contrôlé les moteurs à l'aide d'une carte Arduino mega, qui a été programmée de son tour par son propre programme. Et puis nous avons réalisé la modélisation que nous avons déjà choisie dans le deuxième chapitre en utilisant le bois et le plastique. Finalement nous obtenons un modèle, ce n'était pas exactement le même que nous avons dessiné, et ça à cause de manque de matériaux et les ressources, mais il fonctionne.

Dans le chapitre suivant nous allons créer des modèles 3d en utilisant notre propre scanner et nous allons essayer d'améliorer et de traiter les erreurs par plusieurs étapes.

Chapitre IV :

Acquisition et traitement d'image



IV.1. Introduction :

Le traitement d'images est l'ensemble des techniques permettant de modifier une image numérique pour l'améliorer ou en extraire des informations ; le traitement d'images est un domaine très vaste qui a connu, et qui connaît encore, un développement important depuis quelques dizaines d'années

Dans ce chapitre, nous présentons les notions de base nécessaires à la compréhension des techniques de traitement d'images. Ensuite, nous allons donner un aperçu sur les différentes techniques connues dans ce domaine.

IV.2. Post de traitement :

On ne peut pas utiliser les données acquises directement : elles présentent du bruit de mesure, des données inutiles (environnement), il faut donc les traiter afin d'être utilisables. Boehler [1.3] donnent un aperçu des différents traitements à appliquer aux données 3D brutes. Il n'existe pas de méthode de traitement d'images générale à tous les domaines d'application possibles. Il faut en général employer des algorithmes spécifiques. Ces derniers sont souvent des combinaisons de techniques classiques

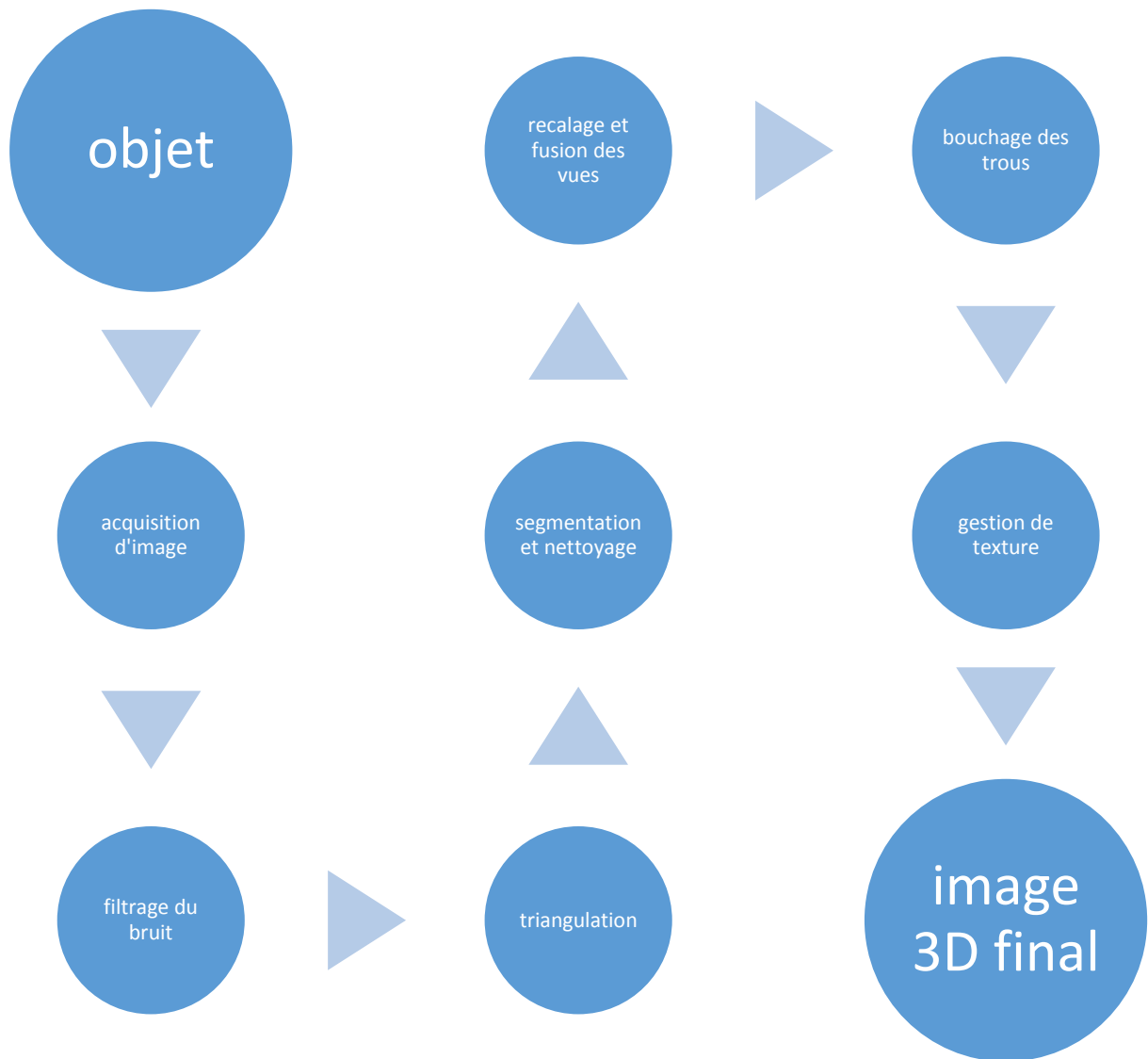


Figure 4.1 : les étapes de traitement d'image

IV.2.1. Filtrage du bruit

En fonction de la matière de l'objet, les bruits de mesure sont plus ou moins importants.

Cela se traduit par des points qui n'ont aucune signification réelle (effets de bords, points aberrants . . .), et qui doivent donc être supprimés. Au même titre que pour les images, il existe des algorithmes de débruitage pour les maillages. Un simple filtre moyenneur, par exemple, peut atténuer l'influence du bruit par moyennage local en chaque sommet. Malheureusement, ce type de filtre ne fait aucune distinction entre ce qui est réellement du bruit et ce qui correspond aux fins détails du relief de la surface. Cela entraîne bien souvent une perte des détails géométriques, qui se traduit par un aplatissement des creux et des bosses ou un arrondissement des arêtes saillantes.

Chapitre IV :

Des algorithmes de débruitage plus évolués, dit adaptatifs, ont donc été développés pour objectif de tenir compte du comportement local de la surface. Si celle-ci varie fortement dans un voisinage donné, ces variations sont dues au relief en lui-même et non au bruit. Inversement, si la surface semble relativement plane dans ce voisinage, les variations observées sont plutôt imputables à l'influence du bruit. Ainsi, les pondérations du filtre sont ajustées en fonction d'une analyse locale de la surface de manière à en préserver les caractéristiques géométriques. Dans, l'auteur a développé une méthode en trois phases. À partir d'un maillage bruité, la première étape de la procédure est de calculer la transformée en distance (TD) du maillage. Ensuite le filtrage de la TD est réalisé et une troisième étape de triangulation de la TD permet d'obtenir un nouveau maillage filtré. La TD d'une vue est une voxelisation de la vue où chaque voxel contient la distance minimale à la surface de l'objet. Le filtrage de la TD est une généralisation de l'opération de convolution 2D utilisée en traitement d'images. Les filtres de convolution 3D sont appliqués sur la TD pour filtrer les valeurs de distance contenues dans les voxels. Les noyaux de convolution 3D sont de tailles variables, Le filtre 3D adaptatif utilisé est une généralisation d'un filtre moyenné adaptatif 2D et utilise la variance du bruit du scanner utilisé.

Le filtrage du bruit peut être appliqué directement sur le nuage de points ou sur une surface déjà maillée.

Un nuage de points trop dense et hétérogène doit également être filtré afin d'éviter une trop grande redondance des données. C'est le cas lors de la numérisation d'un objet avec un capteur laser ligne sur un bras poly articulé, car les acquisitions doivent être croisées.

Cette redondance s'accompagne d'un bruit de mesure et entraîne d'importantes erreurs lors de la triangulation des données et de la fusion des vues [20].

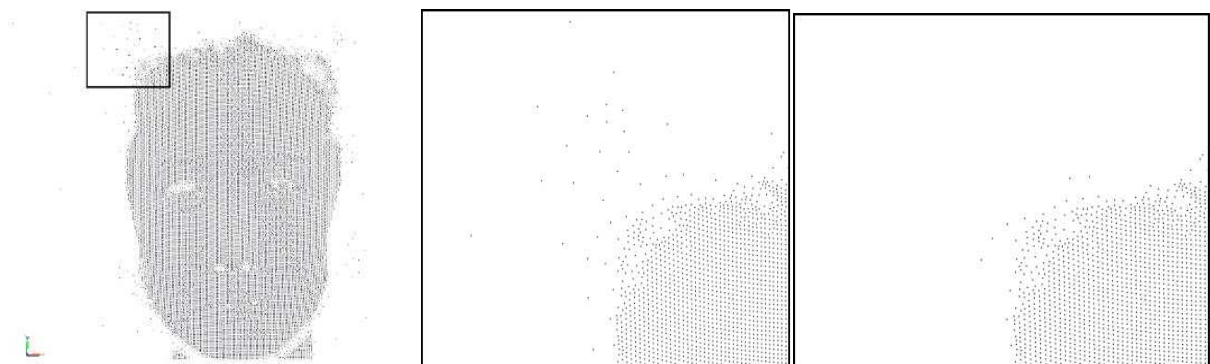


Figure 4.2 : Filtrage du bruit de mesure : (a) données brutes ; (b) détail ; (c) données filtrées

IV.2.2. Triangulation

Une fois les données filtrées, elles peuvent être triangulées, en fonction de l'application visée. Cette opération permet de passer d'un nuage de points à un modèle maillé. Deux types de triangulation peuvent être différenciés : la triangulation 2D et la triangulation 3D.

Le principe général de la triangulation 2D est la projection du nuage de points 3D sur un plan 2D, suivant la direction de la prise de vue. La triangulation 2D de Delaunay est ensuite appliquée. Cette triangulation ne fonctionne que sur une prise de vue unique et non sur un nuage de points complet.

En triangulation 3D, plusieurs méthodes existent, basées sur une approche volumique ou surfacique.

Ces triangulations permettent de mailler un nuage de points complet. Elles nécessitent généralement un nuage dense et homogène.

Pour l'analyse d'objets, cette étape n'est pas obligatoire. Certaines mesures peuvent se faire directement sur le nuage de points acquis [21].

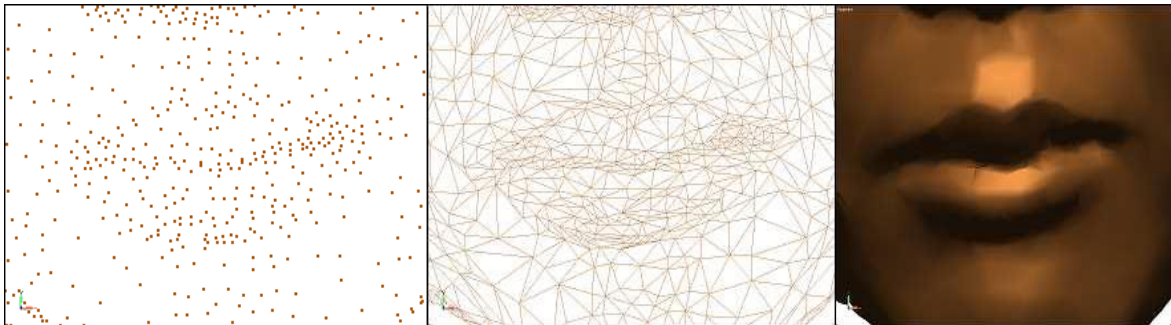


Figure 4.3 : Triangulation d'un nuage de point : (a) nuage de point ; (b) maillage obtenu par triangulation ; (c) rendu

IV.2.3. Segmentation et nettoyage

Lors de la numérisation d'un objet, il n'est pas rare qu'une partie de l'environnement soit numérisée en même temps, et ce quel que soit le système d'acquisition utilisé. Les données acquises doivent donc être segmentées afin de ne conserver que l'objet. Cette étape est manuelle mais elle peut être automatisée en partie (suppression du plan support) lorsqu'il s'agit d'une MMT (segmentation en fonction de la hauteur). Les données acquises doivent également être nettoyées ; en effet, lors de la triangulation, des facettes anormales sont très fréquemment créées :

- facettes “non-manifold” : si une arête appartient à trois (ou plus) facettes.

Chapitre IV :

- facettes croisées : si les arêtes d'une facette traversent une autre facette.
- facettes redondantes : le nombre d'arêtes et de faces qui appartiennent à un même sommet doit être identique. Les facettes dérogeant à cette règle sont considérées comme redondantes.
- facettes allongées ("pics") : une facette allongée peut être identifiée en fonction de plusieurs critères : longueur d'arête, rapport base / hauteur, rapport arête maximale / arête minimale . . .
- facettes instables : une facette est instable lorsque sa normale présente une incohérence par rapport aux autres facettes.

Ces erreurs peuvent être dues à un filtrage du bruit insuffisant, à des paramètres de triangulation incorrects (création d'arêtes entre des sommets ne devant pas être reliés . . .), ou à des formes d'objets particulières (objets très fins par exemple).

Il existe différents algorithmes permettant de supprimer automatiquement ces différentes facettes. Ces algorithmes s'appuient sur les caractéristiques des facettes et des arêtes : aire de la facette, longueur des arêtes, normale de la facette, nombre de facettes par arête [22].

IV.2.4. Recalage manuel / automatique et fusion des vues

Les auteurs décrivent plusieurs algorithmes de recalage. Généralement, des points de contrôle reconnaissables dans le nuage de points (ou le modèle maillé) sont nécessaires pour cette étape. Ces points peuvent être des caractéristiques de forme de l'objet (angles, arêtes vives . . .) ou des repères extérieurs (sphères, cibles réfléchissantes . . .) placés à des positions adéquates.

Pour effectuer ce recalage, au moins trois points sont nécessaires. Ce recalage peut être automatique si le logiciel de numérisation identifie chaque cible individuellement.

Dans le cas de scanners à acquisition par vue en triangulation laser, les vues doivent être recalées entre elles afin d'obtenir le modèle complet. Ce recalage est également nécessaire lorsque l'objet est numérisé par un système sur bras poly articulé (ou tracker optique) et que le bras doit être déplacé en raison de la taille de l'objet, ou que celui-ci doit être retourné pour une numérisation complète.

Lors d'un recalage manuel, l'opérateur doit généralement effectuer deux étapes :

- le recalage initial, qui permet de repositionner grossièrement deux vues entre elles.

L'opérateur doit sélectionner manuellement les points de correspondance entre les différentes vues

- le recalage fin, qui affine le repositionnement des vues. Cette deuxième étape est automatique.

Chapitre IV :

Si le système utilisé est un scanner temps de vol, des sphères indexées peuvent être numérisées par l'opérateur, puis le recalage est réalisé automatiquement par le logiciel d'acquisition. Les systèmes à projection de franges utilisent des mires réfléchissantes que l'opérateur positionne dans l'environnement numérisé. Ces mires sont acquises en même temps que l'objet et le recalage est automatique. Pour les capteurs lignes sur bras poly articulés, certains logiciels permettent l'acquisition de points de référence, afin de créer un référentiel. Celui-ci est acquis pour chaque position du bras, permettant le recalage automatique des vues.

Une fois toutes les vues recalées les unes par rapport aux autres, elles sont fusionnées afin de ne donner qu'un seul modèle 3D. Des algorithmes de fusion sont définis. La méthode développée par Türk *et al.* utilise le principe du "mesh zippering". Cette méthode peut être décomposée en trois phases. Lors de la première phase, les facettes redondantes d'une des deux vues sont supprimées. Une facette est dite redondante si la distance entre ces sommets et la deuxième vue est inférieure à un seuil. Durant la seconde phase, des sommets sont ajoutés aux intersections des deux vues et les données à l'intérieur des nouveaux bords sont supprimées afin que les trous soient triangulés. Le maillage est ensuite réarrangé afin de supprimer les facettes de petites dimensions.

Lors de la fusion des vues, une redondance trop importante des données peut entraîner la création de facettes anormales ou de trous dans le maillage. Les différentes acquisitions doivent donc être segmentées par l'opérateur afin de limiter cette redondance. À l'inverse, un recouvrement insuffisant entre les différentes vues entraîne également la création de trous [23].

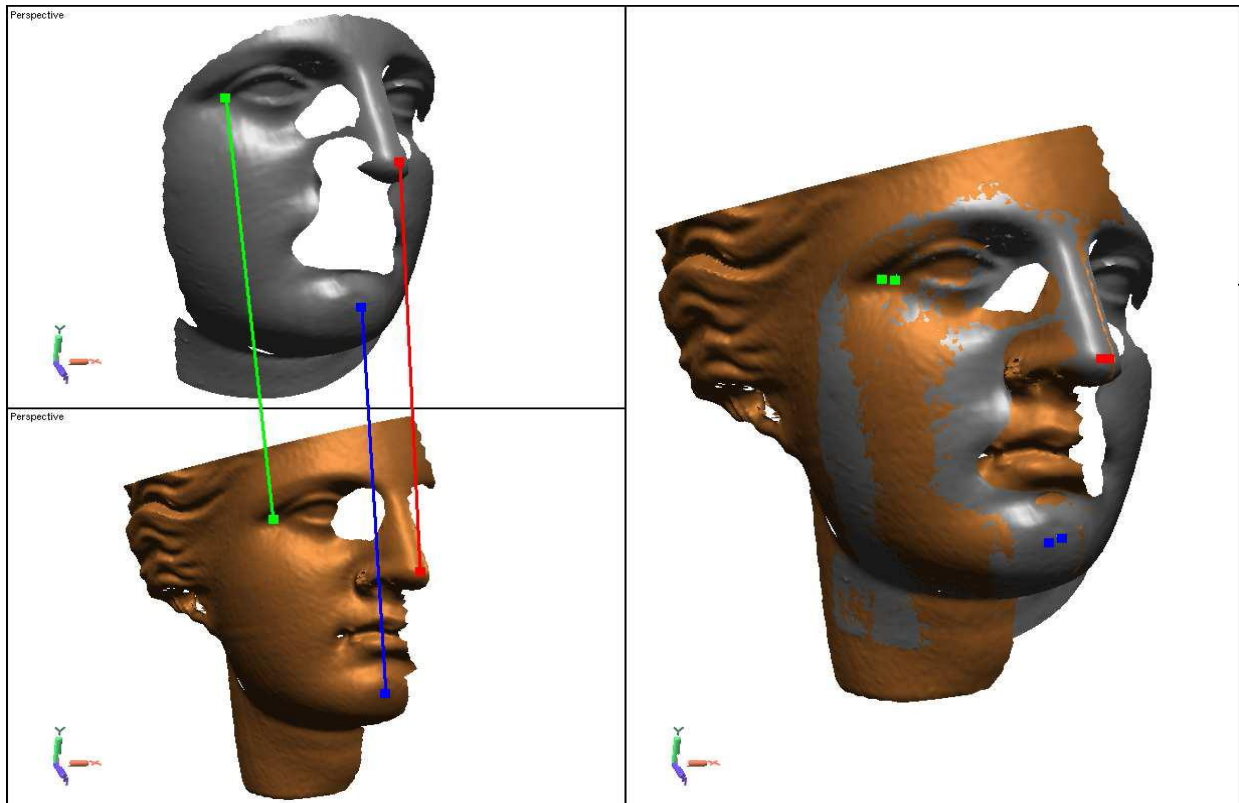


Figure 4.4 : Recalage initial de deux vues : à gauche, la sélection manuelle des points de correspondance ; à droite, le résultat

IV.2.5. Bouchage des trous

En numérisation 3D, un trou désigne une absence de facettes dans le maillage et non un trou topologique. Les trous dans un modèle 3D peuvent avoir plusieurs origines :

- l’absence de données : la zone n’a pas été numérisée correctement.
- la triangulation : les trous apparaissent lorsque la densité d’une zone est plus faible que sur le reste de la vue.
- le nettoyage : les facettes anormales sont supprimées.
- la fusion : il arrive couramment que la fusion des vues entraîne la création de trous.

Si ces trous sont de petites dimensions, ils ne nécessitent pas l’acquisition de vues supplémentaires. Si l’application visée est la visualisation ou la duplication, ils doivent malgré tout être bouchés afin que le modèle 3D soit fermé. S’il s’agit d’analyse, il peut être préférable d’effectuer une nouvelle acquisition. En effet, les algorithmes de bouchage de trous créent des points non mesurés (interpolation), et introduisent donc des erreurs. Plusieurs méthodes permettant de boucher les trous ont été développés. Jun a développé un algorithme en quatre phases. Dans un premier temps, les facettes du bord du trou traité sont projetées sur un plan normal, calculé à partir des normales de ces facettes. Les intersections formées à partir de cette

Chapitre IV :

projection sont calculées afin de générer des “sous-trous”. Chacun de ces trous élémentaires est ensuite triangulé. La méthode la plus rapide consiste à créer des facettes permettant de relier les arêtes des trous, avec ou sans lissage. D’autres méthodes prennent en compte la courbure locale afin d’améliorer le résultat [24].

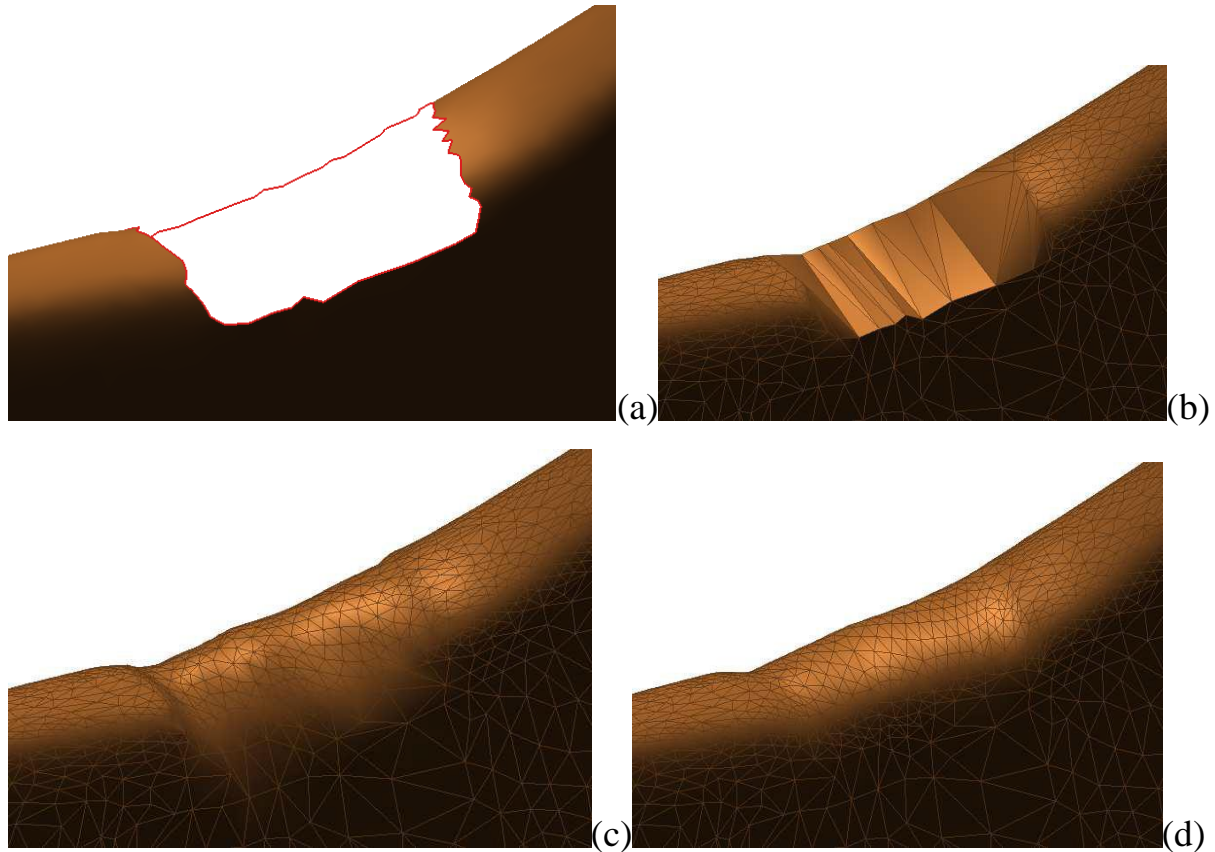


Figure 4.5 : Bouchage de trous : (a) trou ; (b) bouchage sans lissage et sans prise en compte de la courbure ; (c) bouchage avec lissage et sans prise en compte de la courbure ; (d) bouchage avec prise en compte de la courbure

IV.2.6. Gestion de la texture :

La gestion de la texture pose encore de réels problèmes actuellement. En effet, un grand nombre de systèmes d’acquisition ne fait pas l’acquisition de la couleur, mis à part les scanners Vi de Konica-Minolta (mais avec une résolution très faible), certains temps de vol et les systèmes composés d’appareils photographiques (stéréovision, Shape from Silhouettes). Pour les autres systèmes, il faut donc :

- soit coupler un appareil photographique au système d’acquisition, et calibrer l’ensemble pour que la texture soit correctement placée,
- soit prendre les photographies séparément et les repositionner manuellement.

Dans les deux cas, l’ajustement des photographies sur les données 3D est une étape délicate. Quel que soit le système utilisé, le contrôle de la lumière reste également une grande difficulté,

Chapitre IV :

principalement en extérieur (et plus généralement à partir du moment où la numérisation ne se fait pas dans une salle équipée). Un mauvais contrôle de l'éclairage entraîne des zones d'ombre sur les bords de l'objet, ce qui rend la fusion des vues très difficile, et engendre même parfois des teintes différentes sur chaque photographie. Plusieurs méthodes ont été développées afin de franchir ces difficultés.

A noter le scanner 3D Arius qui permet la numérisation couleur sans gestion de l'éclairage. Pour cela, ce système utilise trois lasers de couleur différent (rouge, vert et bleu). Chaque point 3D est représenté par ces coordonnées (X, Y, Z) et par trois valeurs correspondant à la couleur réfléchi par chacun des trois lasers [25].



Figure 4.6 : Acquisition sans et avec contrôle de l'éclairage

IV.3. Conclusion :

Nous avons introduit dans cette partie les notions de base qui servent de fondement à la compréhension de différentes techniques de traitement d'images. A la fin de ce chapitre, nous avons présenté les différentes approches qui ont été élaborées pour le traitement d'images.



Conclusion générale

Conclusion générale :

Dans ces dernières années, la vision tridimensionnelle a connu une grande révolution dans différents domaines : l'industrie, l'archéologie, la mode, la médecine, le sport, ou encore les jeux vidéo. Les modèles 3D peuvent être conçus dans des logiciels ou créés à partir d'objets réels dont la forme a été acquise grâce à des scanners tridimensionnels.

L'objectif de ce projet de fin d'études est la construction d'un scanner 3D à partir d'une caméra Kinect pour compléter le manque qui a connu notre université en terme de scanner 3D. Cet objectif est atteint grâce à plusieurs composants et logiciels. Dans un premier temps, le système fait l'acquisition d'un objet placé sur une table tournante.

Ce projet se décompose en quatre chapitres :

Le premier chapitre a été consacré pour les différents systèmes d'acquisition d'image 3D, puis on a présenté la méthodologie pour la numérisation 3D ainsi que les différents scanners et leur principe de fonctionnement.

Dans le deuxième chapitre nous avons fait une conception d'un scanner 3D, tout d'abord on a présenté la méthodologie de conception assistée par ordinateur puis une introduction sur CATIA v5 logiciel de CAO.

Le troisième chapitre a été consacré à la réalisation de notre scanner 3D à partir d'une caméra Kinect pour l'acquisition d'image 3D et deux moteurs pas à pas pour la mise en mouvement de l'objet.

Le dernier chapitre a été consacré pour le traitement d'image, on a présenté les différentes étapes de traitement d'image qu'on acquiert de scanner 3D pour l'utilisation finale.

Ce projet de fin d'études nous a permis d'accroître nos connaissances dans le domaine de la programmation et de la vision 3D, en mettant en application des notions acquises lors de notre formation, ce travail nous a permis de développer une rigueur de travail indispensable dans l'environnement de la recherche.

Liste des figures :

Figure 1.1 : les différentes méthodes d'acquisition	3
Figure 1.2 : Détail d'un palpeur	4
Figure 1.3 : Principe de la stéréovision	5
Figure 1.4 : Exemple de photogrammétrie	6
Figure 1.5 : Reconstruction 3D à partir d'images catadioptriques : (a) scène numérisée par un scanner temps de vol ; (b) scène reconstruite par vision catadioptrique ; (c) comparaison des reconstructions 3D	7
Figure 1.6 : Simulation d'une pièce vue par vision catadioptrique	7
Figure 1.7 : Principe de la triangulation active	8
Figure 1.8 : Différents motifs lumineux en triangulation active : (a) point, (b) ligne, (c) motif	8
Figure 1.9 : Têtes laser point de μ Epsilon (a) et de Nextec (WizProbe) (b)	9
Figure 1.10 : Exemple de motifs : grille (a), cercles (b), couleur (c)	10
Figure 1.11 : Scanners AtosIII de Gom (a) et Comet5 de Steinbichler (b)	10
Figure 1.12 : Système mis en place pour l'acquisition 3D dans l'infrarouge	12
Figure 1.13 : Temps de vol à détection de pulse	12
Figure 1.14 : Temps de vol à décalage de phase : (a-b) mesure du décalage ; (c) combinaison de plusieurs fréquences pour lever l'ambiguïté	13
Figure 1.15 : Procédure générale de la numérisation 3D : (a) la préparation à la numérisation (en bleu), (b) l'acquisition et (c) les post-traitements (en vert)	16
Figure 1.16 : Nuage de points	17
Figure 1.17 : Définition d'un trou : (a) trou de maillage ; (b) trou topologique	18
Figure 1.18 : Modèle maillé	18
Figure 1.19 : Applications de la numérisation 3D	19
Figure 1.20 : Capteur de la Kinect (Microsoft)	25
Figure 2.1 : conception de disque tournant	30
Figure 2.2 : les cotations de disque tournant	30
Figure 2.3 : mise en plan de disque de rotation	30
Figure 2.4 : image de Kinect	31
Figure 2.5 : les cotations de Kinect	31
Figure 2.6 : mise en plan de Kinect	31
Figure 2.7 : conception de cylindre de support	32
Figure 2.8 : les cotations de cylindre de support	32

Figure 2.9 : mise en plan de cylindre de support	32
Figure 2.10 : conception de cylindre de support mobile	33
Figure 2.11 : les cotations de cylindre de support mobile	33
Figure 2.12 : mise en plan de cylindre de support mobile	33
Figure 2.13 : conception de cylindre de support de Kinect	34
Figure 2.14 : les cotations de cylindre de support de Kinect	34
Figure 2.15 : mise en plan de cylindre de support de Kinect	34
Figure 2.16 : conception de moteur pas à pas	35
Figure 2.17 : les cotations de moteur pas à pas	35
Figure 2.18 : mise en plan de moteur pas à pas	35
Figure 2.19 : conception de support	36
Figure 2.20 : les cotations de support	36
Figure 2.21 : mise en plan de support	36
Figure 2.22 : conception de support de moteur	37
Figure 2.23 : les cotations de support de moteur	37
Figure 2.24 : mise en plan de support de moteur	37
Figure 2.25 : conception de table	38
Figure 2.26 : les cotations de table	38
Figure 2.27 : mise en plan de table	38
Figure 2.28 : conception de support de Kinect	39
Figure 2.29 : les cotations de support de Kinect	39
Figure 2.30 : mise en plan de support de Kinect	39
Figure 2.31 : conception de support fixation de Kinect	40
Figure 2.32 : les cotations de support fixation de Kinect	40
Figure 2.33 : mise en plan de support de fixation de Kinect	40
Figure 2.34 : conception de pièce de fixation de Kinect	41
Figure 2.35 : les cotations de pièce de fixation de Kinect	41
Figure 2.36 : mise en plan de pièce de fixation de Kinect	41
Figure 2.37 : conception de pièce de fixation de support de Kinect	42
Figure 2.38 : les cotations de pièce de fixation de support de Kinect	42
Figure 2.39 : mise en plan de pièce de fixation de support de Kinect	42
Figure 2.40 : conception de support rotatif	43
Figure 2.41 : les cotations de support rotatif	43
Figure 2.42 : mise en plan de support rotatif	43

Figure 2.43 : conception de support de disque rotatif	44
Figure 2.44 : Les cotations de support disque rotatif	44
Figure 2.45 : mise en plan de support de disque rotatif	44
Figure 2.46 : mise en plan de différent vue de scanner 3D	45
Figure 2.47 : les cotations de scanner 3D	45
Figure 2.48 : Vue de de dessous de scanner 3D	46
Figure 2.49 : vue de face de scanner 3D	46
Figure 2.50 : conception de scanner 3D	47
Figure 3.1: Arduino mega	49
Figure 3.2: motor shield	51
Figure 3.3 : les types de moteurs	53
Figure 3.4 : La Kinect	56
Figure 3.5 : Capteur CMOS recouvert d'une grille photosensible de Bayer	57
Figure 3.6 : Processus du système RGB	58
Figure 3.7 : Capteur CMOS infrarouge	58
Figure 3.8 : principe de mesure de profondeur	60
Figure 3.9 : moteur pas à pas bipolaire	63
Figure 3.10 : Motor Shield l293d	64
Figure 3.11 : Branchements des moteurs	64
Figure 3.12 : commande et alimentation des moteurs	65
Figure 3.13 scanner 3d réalisé	68
Figure 3.14 scanner 3d réalisé	69
Figure 3.15 objet scanné	69
Figure 3.16 perssone scanné	70
Figure 4.1 : les étapes de traitement d'image	72
Figure 4.2 : Filtrage du bruit de mesure : (a) données brutes ; (b) détail ; (c) données filtrées .	73
Figure 4.3 : Triangulation d'un nuage de point : (a) nuage de point ; (b) maillage obtenu par triangulation ; (c) rendu	74
Figure 4.4 : Recalage initial de deux vues : à gauche, la sélection manuelle des points de correspondance ; à droite, le résultat	77
Figure 4.5 : Bouchage de trous : (a) trou ; (b) bouchage sans lissage et sans prise en compte de la courbure ; (c) bouchage avec lissage et sans prise en compte de la courbure ; (d) bouchage avec prise en compte de la courbure	78
Figure 4.6 : Acquisition sans et avec contrôle de l'éclairage	79

Liste des tableaux :

Tableau 1.1 : synthèses des systèmes d'acquisition (première partie)	14
Tableau 1.2 : synthèses des systèmes d'acquisition (deuxième partie)	15
Tableau 1.3 : avantage et inconvénients des capteurs MMT	22
Tableau 1.4 : avantages et inconvénients des systèmes à acquisition par vue	23
Tableau 1.5 : avantages et inconvénients des systèmes sur bras poly articulées	24
Tableau 3.1 : les caractéristiques d'Arduino mega	50
Tableau 3.2 : caractéristique de des moteurs bipolaires	54

Abréviations :

- MMT : Machine à Mesurer Tridimensionnelle

Les systèmes de positionnement les plus utilisés ces dernières années sont les MMT. Ces systèmes possèdent trois axes de translations ainsi qu'un poignet pour orienter le capteur. Ils permettent un positionnement très précis avec une excellente répétabilité (de quelques dixièmes de micron). Les capteurs utilisés sur ces systèmes sont soit des palpeurs, soit des têtes d'acquisition laser point ou ligne. Le volume de travail peut varier de 0,5 à 120 mètres cube environ. Afin de garantir la précision de ces systèmes, ils doivent être utilisés en environnement contrôlé (variation de température, humidité . . .).

- Un capteur CCD: charge Couple Device :

Composant électronique d'un Appareil photo numérique ou d'une came scope numérique qui génère des charges électriques d'intensités variables en fonction de la quantité de lumière reçue et de la durée d'exposition. Ce dispositif permet de générer les pixels qui constituent l'image numérique stockée dans la carte mémoire de l'appareil.

- Un capteur CMOS : complementary metal-oxide-semiconductor :

Est composé de photodiodes, à l'instar d'un CCD, où chaque photosite possède son propre convertisseur charge/tension et amplificateur



Bibliographie

Bibliographie :

- [1] Thèse de doctorat présenté par BENJAMIN LORIOT. Automatisation de l'Acquisition et des Post-traitements en Numérisation 3D
- [2] BATTLE, J. MOUADDIB, J. SALVI «Recent Progress in Coded Structured Light as a Technique to Solve the Correspondence Problem: a Survey »
- [3] W. BOEHLER and A. MARBS «3D SCANNING AND PHOTOGRAMMETRY FOR HERITAGE RECORDING: A COMPARISON»
- [4] CHRISTOPHER GEYER and KOSTAS DANILIDIS « Catadioptric Projective Geometry»
- [5] thèse de doctorat présenté par FOREST.J « New Methods For Triangulation-Based Shape Acquisition Using Laser Scanners»
- [6] LUIS ALONSO SANCHEZ « 3D scanning of non-opaque objects by means of infrared imaging»
- [7] HAALA.N and BRENNER «Generation of 3d city models from airborne laser scanning data»
- [8] S.BULLER, A.C.WALKER and A.M.WALLACE «3D imaging and ranging by time-correlated single photon counting »
- [9] GUILLAUME LAVOUE « Compression de surfaces, basée sur la subdivision inverse, pour la transmission bas débit et la visualisation progressive »
- [10] R.SEULINA, C.STOLZA, D.FOFIA, G.MILLONB and F.NICOLIERB «Three-dimensional tools for analysis and conservation of ancient wooden stamps »
- [11] CHARYAR MEHDI-SOUZANI « Numérisation 3D intelligente d'objets de formes inconnues basée sur des critères de qualité ».
- [12] Thèse de Doctorat Présentée par Khaled ASSAD ARROUK. Techniques de conception assistée par ordinateur (CAO) pour la caractérisation de l'espace de travail de robots manipulateurs parallèles. 12 Juillet 2012.
- [13] D. CHALBAT et F.BENNIS « documentation de CATIA v5 »
- [14]http://www.mon-club-elec.fr/pmwiki_reference_arduino/pmwiki.php?n=Main.MaterielMega2560
- [15] <http://tiptopboards.com/89-controlleur-de-moteurs-l293d-pour-arduino.html>
http://tiptopboards.free.fr/arduino_forum/viewtopic.php?f=2&t=37
- [16] mémoire de master présenté par ELISE LACHAT « Evaluation de la technologie des caméras 3D (Kinect 2) pour la mesure et la reconstruction d'objets à courte portée »2013

[17] mémoire de master présenté par DJEBBAR MOUNA et RECIOUI Mehdi « Conception et réalisation d'un système de contrôle et de distribution d'une entreprise agroalimentaire »2016.

[18] mémoire de licence BERTRAND PECUCHET « Kinect » (2012-2013).

[19] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Arduino>

[20]https://www.researchgate.net/publication/268325700_Filtrage_adaptatif_des_donnees_acquises_par_un_scanner_3D_et_representees_par_une_transformee_en_distance_volumetrique

[21] HUGUES HOPPE «Surface Reconstruction from Unorganized Points ».

[22] Wolfgang BOEHLER, Guido HEINZ, Andreas MARBS, and MIRKO SIEBOLD «3D SCANNING SOFTWARE: AN INTRODUCTION »

[23] Daniel F. Huber, Martial Hebert «Fully automatic registration of multiple 3D data sets»

[24] James Davis Stephen R. MARSCHNER Matt Garr Marc LEVO y « Filling Holes in Complex Surfaces using Volumetric Diffusion »

[25] Marco CALLIERI, Paolo CIGNONI, Roberto SCOPIGNO «Reconstructing textured meshes from multiple range+rgb maps »

Résumé :

La numérisation tridimensionnelle consiste en l'acquisition des coordonnées d'un ensemble de points 3D représentatifs des surfaces de la pièce à numériser. Pour réaliser cette tâche, il existe de nombreuses technologies afin de prendre en considération des contraintes variées.

De nos jours, le scanner 3D est un système dont l'utilisation est en constante augmentation. Il est utile pour des acquisitions de données et numériser des pièces. Les thèmes d'utilisation d'un scanner sont variés.

Dans ce mémoire, nous détaillons tout d'abord les différents systèmes d'acquisition ; ainsi que les avantages et inconvénients de chaque système notre étude s'appuie sur un système de mesure utilisant un capteur de caméra Kinect

Notre projet a pour but d'étudier, concevoir et implémenter un scanner 3D, c'est-à-dire un appareil capable de numériser tout objet en trois dimensions de manière informatisée.

Abstract:

Three-dimensional digitization consists in the acquisition of the coordinates of a set of 3D point's representative of the surfaces of the part to be digitized. To accomplish this task, there are many technologies to take into account various constraints.

Nowadays, the 3D scanner is a system whose use is constantly increasing. It is useful for data acquisition and digitizing parts. The themes for using a scanner are varied.

In this brief, we first detail the different acquisition systems; as well as the advantages and disadvantages of each system our study is based on a measurement system using a Kinect camera sensor

Our project aims is to study, design and implement a 3D scanner, that is to say a device capable of digitizing any object in three dimensions in a computerized way.

ملخص:

المسح الضوئي ثلاثي الأبعاد يعتمد على الحصول على احداثيات مجموعة من النقاط ثلاثية الابعاد التي تمثل سطح القطعة الممسوحة ضوئيا لتنفيذ هذه العملية توجد عدة طرق للنظر في الشروط المتغيرة.

في يومنا هذا الماسح الضوئي عبارة عن نظام في تطور مستمر هو جهاز مفيد للمسح الضوئي ويمكن استعماله في عدة مجالات مثل الصناعة الطب الخ

في هذه المذكرة سنفصل أولا مختلف أنظمة المسح الضوئي وكذلك فوائد ومساوئ نظام المسح الضوئي المستعمل في مشروع الدراسة الخاص بنا الذي يعتمد على كاميرا kinect.

الهدف الأساسي من مشروعنا هو دراسة تصميم وانجاز ماسح ضوئي ثلاثي الابعاد يعني جهاز قادر على المسح الضوئي لكل شيء وتمثيله بثلاث ابعاد.