

CONCEPTION ET REALISATION D'UN SCANNER 3D (triangulation sur un point)



Etudiants :

Lydia CUFINO

Lucie DECOURS

Xiren ZHAI

Céline CHAUGNY

Enseignant-responsable du projet :

Christophe GAUTRELET

Date de remise du rapport : 17/06/2013

Référence du projet : STPI/P6/2013 – 18

Intitulé du projet : **Conception et réalisation d'un scanner 3D
(triangulation sur un point)**

Type de projet : **Bibliographie / Fabrication / Expérimentation**

Objectifs du projet :

Ce projet a pour objectif de nous faire découvrir le fonctionnement de la triangulation, objet mathématique utilisé notamment dans le cadre de la reconstruction d'objet 3D. Ensuite, grâce à cette méthode il nous faudra concevoir ou améliorer un système de mesure déjà existant afin de récupérer un tableau de valeurs correspondant aux coordonnées du volume. Enfin, l'objectif final est d'obtenir à partir de ce nuage de points une représentation 3D à l'échelle de l'objet.

Mots-clefs du projet : **Acquisition / Triangulation / Modélisation**

TABLE DES MATIERES

1. Introduction	6
2. Méthodologie / Organisation du travail.....	7
3. Travail réalisé et résultats	8
3.1. La théorie du fonctionnement d'un scanner 3D	8
3.1.1. La triangulation, objet mathématique.....	8
3.1.2. Les différentes techniques pour réaliser un scanner 3D	10
3.2. Expériences et résultats obtenus.....	13
3.2.1. Le premier montage	13
3.2.2. Deuxième montage : utilisation d'un nouveau laser plus précis	16
3.2.3. Résultats obtenus	19
4. Conclusions et perspectives	21
4.1. Conclusions personnelles	21
4.2. Conclusion et perspectives.....	22
5. Bibliographie	23
6. Annexes.....	24
6.1. Programme Matlab : nuage de points.....	24
6.2. Propositions de sujets de projets.....	25

REMERCIEMENTS

Nous souhaitons remercier, pour la démonstration qu'il nous a faite du scanner 3D de notre école, Monsieur BRETEAU. Il a gentiment pris de son temps pour nous montrer un objet remarquable et utilisant des technologies bien plus élevées que les nôtres.

Un grand merci aussi bien évidemment à Monsieur GAUTRELET qui nous a suivies tout au long de ce projet. Son aide était indispensable et il a pour nous été un excellent guide ainsi que pédagogue notamment lorsque nous avions des difficultés à programmer. Il s'est aussi occupé de faire des modifications que nous aurions été incapable de faire sur notre montage afin de le faire marcher.



1. INTRODUCTION

Nous nous sommes proposées lors de ce projet de réaliser un scanner 3D. Ce système a de nombreuses applications, notamment dans le milieu mécanique (conception industrielle, rétro-ingénierie, documentation technique, évaluation de dommages sur une pièce...) mais également dans d'autres milieux variés (applications médicales, reconstitution de scènes de crime, numérisation de visages pour effets spéciaux et cascades, préservation du patrimoine,...).

Pour ce projet nous avons pour principal but de modéliser une pièce quelconque sur un ordinateur. Pour ce faire, nous nous sommes appuyées sur le projet existant de l'année dernière, qui utilisait un socle rotatif, ainsi qu'une glissière verticale sur laquelle se déplace un capteur laser.

Après avoir compris comment fonctionnait le système précédent, et vu les difficultés rencontrées pour sa mise en marche, nous nous sommes dirigées vers un autre laser, plus précis. Le but était alors de parvenir à déplacer les moteurs (du plateau et du capteur) de manière automatique, parvenir à faire les acquisitions de mesures de manière automatique, et modéliser la pièce étudiée grâce au nuage de points obtenus, afin de remplir le cahier des charges.

Pour atteindre ces objectifs, nous avons au cours des 13 séances travaillé en groupe le vendredi après-midi dans un laboratoire de recherche en mécanique encadrées par M.Gautrelet, ingénieur d'étude en techniques instrumentales.

Le scanner obtenu à la fin du projet lui permettra d'obtenir un nuage de points de manière peu contraignante pour pouvoir modéliser une pièce sur des logiciels de dynamique ou de structure.



2. METHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

Nous avons travaillé ensemble tout au long de notre projet, sans se diviser les tâches car le projet ne s’y prêtait pas et nous n’étions que quatre. Monsieur Gautrelet, notre responsable de projet nous a accueilli dans son laboratoire et nous y a prêté un espace de travail. Nous avons à disposition deux ordinateurs et le montage fait par le groupe de projet précédent qui sera décrit plus loin.

Chacune d’entre nous avait son « poste » :

- Lucie gérait les programmes Labview et Matlab (avec l’aide de Xiren et Lydia),
- Lydia et Xiren s’occupaient du montage (observer, surveiller, prendre des mesures afin de faciliter l’élaboration des programmes, etc..),
- Céline gérait les moteurs pas-à-pas grâce au logiciel mot_dos.

Pour ce projet, nous n’avons pas eu de budget à gérer car nous avons déjà tout sur place. En effet, ce projet avait déjà été réalisé sans avoir abouti, donc nous n’avons pas de frais à faire. Toutes les pièces nécessaires étaient à disposition (un laser plus précis, un moteur pas-à-pas de rechange, des alimentations).

Pour la partie sur la recherche d’informations et les points théoriques (ex : triangulation, différents scanners) nous nous sommes réparties les tâches. Nous avons fait de même pour la rédaction du rapport que nous avons en partie fait lors de nos dernières séances.

Le tableau suivant montre bien l’évolution de notre projet sur les 13 séances et résume nos activités :

	08-févr	15-févr	08-mars	15-mars	22-mars	29-mars
Ce qui était prévu		Recherche bibliographique	Recherche bibliographique	Modifier le montage	Tests de bon fonctionnement	Programmation de Labview
Ce que nous avons fait	Description du projet Discussions sur les différentes options	Recherche bibliographique Découverte et prise en main des logiciels	Essais sur le premier montage	Deuxième montage Tests Etalonnage	Prise de valeurs pour la première pièce	Tests Programmation

	12-avr	17-mai	24-mai	30-mai	31-mai	07-juin	14-juin
Ce qui était prévu	Programmation de Matlab	Réaliser des pièces	Travailler sur des pièces plus complexes	Démonstration d’un scanner 3D de l’INSA	Finalisation des expériences	Rédaction du rapport	Rédaction du rapport
Ce que nous avons fait	Rapport Programme Matlab	Tests	Tests		Manipulations de pièces plus complexes	Fin des expériences Rapport	Rapport



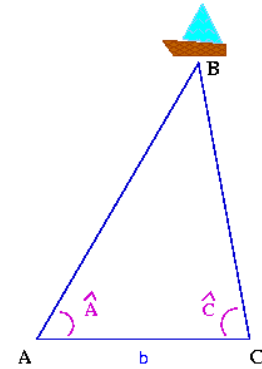
3. TRAVAIL REALISE ET RESULTATS

3.1. La théorie du fonctionnement d'un scanner 3D

3.1.1. *La triangulation, objet mathématique*

Principe de la triangulation

Le principe a été découvert par Thalès pour mesurer la distance qui séparait un bateau en mer de la côte. Il consiste à placer deux observateurs A et C sur le rivage, les éloigner d'une distance b connue et mesurer l'angle que fait la droite reliant un observateur au bateau B avec celle le reliant à l'autre observateur. Cette méthode utilise la propriété de la somme des angles d'un triangle ($=180^\circ$), la loi des sinus, le théorème d'Al-Kashi, et parfois même le théorème de Pythagore (cas particulier du théorème d'Al-Kashi). On parle de triangulation dans la mesure où l'ensemble de ces angles et distances forme un triangle. Ce principe de est utilisé en génie optique, tout comme dans le domaine militaire lorsque l'on ne dispose pas de radar.



La méthode a surtout un intérêt lorsque l'on veut mesurer de grandes distances, et auquel cas les deux observateurs doivent être assez éloignés pour avoir une meilleure précision.

La mesure de distance est pratiquée depuis au moins le XIV^e siècle, pour la cartographie principalement, même si à l'heure actuelle d'autres applications en découlent.

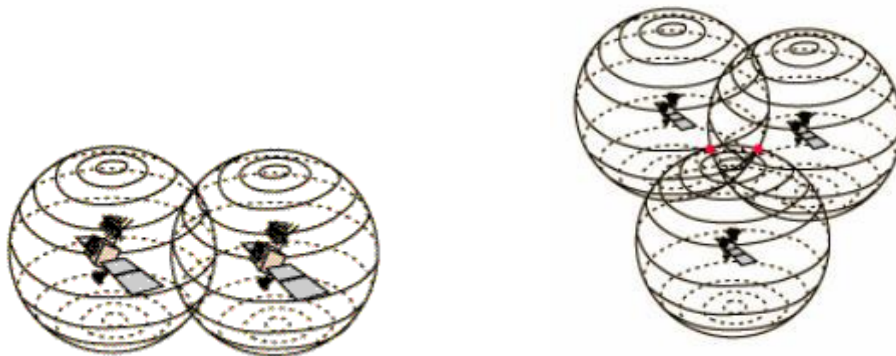
On peut citer par exemple l'utilisation d'un signal électromagnétique. On cherche à positionner un émetteur sur une carte, en connaissant la position de deux (ou trois) récepteurs. Si le milieu de propagation est homogène et isotrope, l'intensité de ce signal est inversement proportionnelle au carré de la distance et diminue donc avec l'augmentation de la distance source-récepteur. On estime alors la distance qui sépare l'émetteur des deux récepteurs grâce à l'intensité perçue, et on est alors capables de tracer deux cercles pour les deux intensités respectives. L'émetteur se situe alors sur l'une des deux intersections. Dans certains cas la logique peut trancher (un bateau ne se trouvera pas sur les terres) sinon il faut refaire une mesure avec un troisième récepteur. Cette méthode est aussi utilisée en sismologie pour retrouver la position de l'épicentre d'un séisme, mais il faut également prendre en compte d'autres paramètres comme la variation de l'indice de réfraction en fonction de la profondeur, la réflexion et réfraction sur le manteau par exemple.

Dans le cas du GPS (Global Positioning System), les satellites se basent sur la simple résolution d'équations. Cette technique de recherche d'intersections multiples s'appelle triangulation s'il y a trois équations dans le système. Cependant plus le nombre d'équations est grand plus la précision de la position est importante, ainsi la méthode de recherche peut aussi d'appeler tétralatation, de pentalation, de sextulation, et ainsi de suite. Le satellite envoie un signal sur terre où un récepteur le reçoit, et en fonction du temps mis par le signal pour atteindre le récepteur, on est capable de situer ce dernier sur une sphère qui aurait pour centre le satellite et pour rayon la distance récepteur/satellite que l'on vient de calculer :

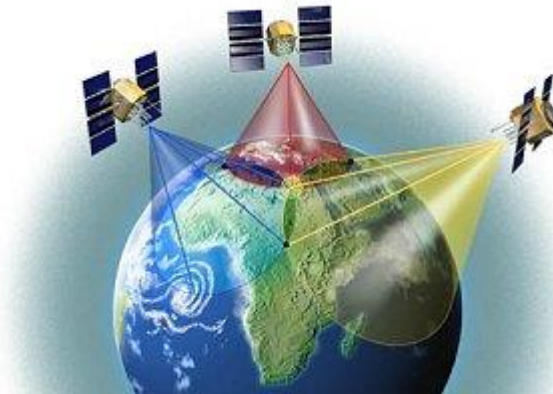




Et si le récepteur capte le signal d'un deuxième satellite, on peut alors définir une deuxième sphère, centrée sur le deuxième satellite, sur laquelle doit aussi se retrouver le récepteur, qui se trouve alors sur l'intersection des deux sphères. Il est alors sur le cercle de leur intersection.



Même chose avec un troisième satellite, qui nous donne alors deux (ou parfois un seul) points d'intersection. Et comme le récepteur (ou l'utilisateur du GPS) ne se trouve pas dans l'espace, on élimine le point incohérent et on le place sur terre :



Lorsque le récepteur capte au moins 3 satellites, il dispose donc en théorie de trois données qui lui permettent de résoudre les trois inconnues définissant sa position : la latitude, la longitude et l'altitude. Toutefois un quatrième (voire plus!) satellite est préférable afin d'éliminer les erreurs liées au temps : les horloges des satellites sont très précises mais celles des récepteurs le sont moins et une erreur d'un millième de seconde provoquerait une erreur de position de 300km! En pratique, le récepteur utilise de 4 à 18 satellites, car le problème réel comporte en plus de ces 4 inconnues, plusieurs corrections, et le nombre de satellites utilisés influence la précision de la mesure, comme évoqué auparavant.



3.1.2. Les différentes techniques pour réaliser un scanner 3D

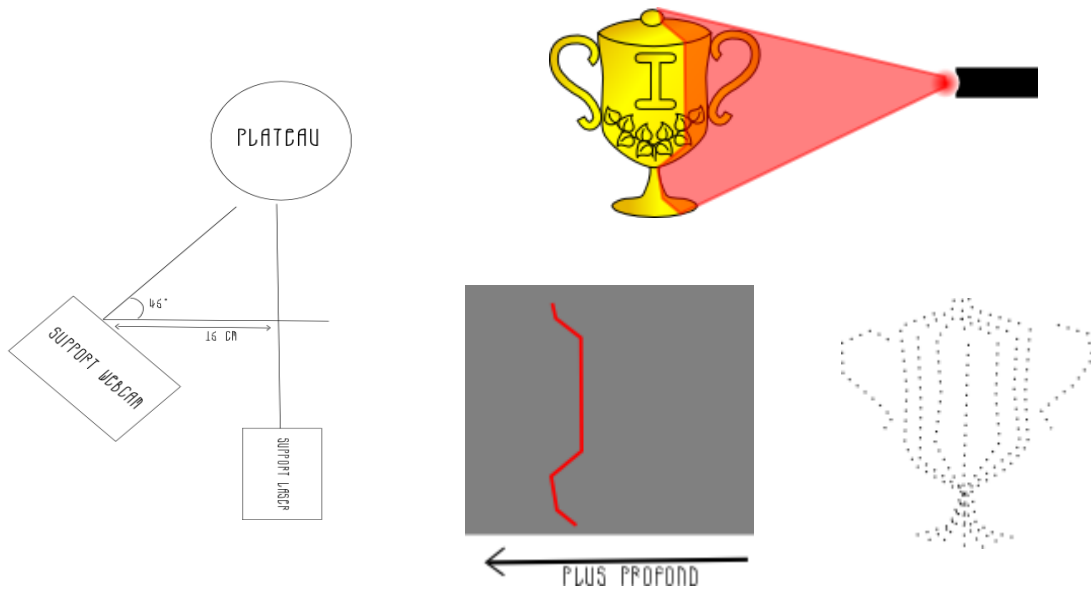
A) Les techniques simples et abordables

Au début de notre projet, nous avons commencé par rechercher différentes méthodes assez simples permettant de construire un scanner 3D à faible coût.

Par scan laser :

Plusieurs méthodes existent qui utilisent un laser.

Tout d'abord, voici une méthode utilisant une ligne laser. Grâce à une webcam, on photographie l'objet en le faisant tourner grâce à un plateau rotatif, tout en y projetant une ligne laser. Puis, grâce à un logiciel gratuit, Copos, les photos sont analysées et permettent d'obtenir un nuage de points.



Une seconde méthode utilise un laser projetant uniquement un point sur l'objet. Une cellule capte la lumière réfléchiée sur l'objet, et cela permet par triangulation de déterminer la distance entre le laser et l'objet.

Par photogrammétrie :

On photographie un objet sous plusieurs angles. Puis, un logiciel permet de retrouver les similitudes entre les images prises et ainsi, de reconstituer l'objet. Cette technique est utile en architecture, car il est difficile de trouver des lasers assez puissants disponibles au public qui permettraient de projeter des lignes ou des points à des distances supérieures à dix mètres.

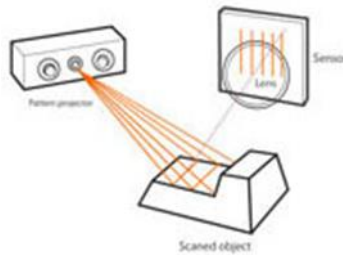
Par vision stéréoscopique :

Deux appareils photos ou caméras sont dirigés vers l'objet à scanner. En connaissant précisément la position des appareils par rapport à l'objet, un logiciel permet de retrouver les similitudes entre les images prises par chaque appareil et ainsi, de reconstituer l'objet.



Par lumière structurée :

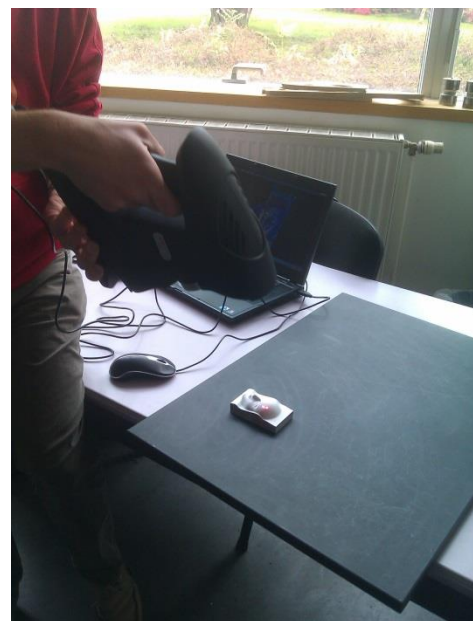
Cette méthode utilise un projecteur. Celui-ci va projeter sur l'objet à scanner une série de motifs, par exemple des bandes sombres et claires. Selon les caractéristiques de l'objet, ces motifs vont être déformés. Et en effectuant plusieurs prises de vue à l'aide d'un appareil photo ou d'une webcam, un logiciel va analyser les images et, comme dans le cas de la photogrammétrie, va repérer les similitudes entre les prises de vue et reconstruire ainsi l'objet sous forme d'un nuage de points.



B) Les techniques un peu plus poussées : démonstration d'un scanner 3D

Il existe un type de scanner opérant à courte distance, ces scanners sont manipulés par l'Homme. Tenus à une main, ils peuvent selon les modèles afficher en temps réel les résultats de l'acquisition des mesures. De plus, ils sont très précis : jusqu'à 0,1mm de précision. Ils sont aussi très rapides en comparaison à des modèles que nous pouvions réaliser à notre niveau et avec nos moyens.

Nous avons eu la chance d'en découvrir un et d'avoir une démonstration d'un tel laser faite par un enseignant de l'INSA : M. Breteau, comme on le voit ci-après sur les photos :



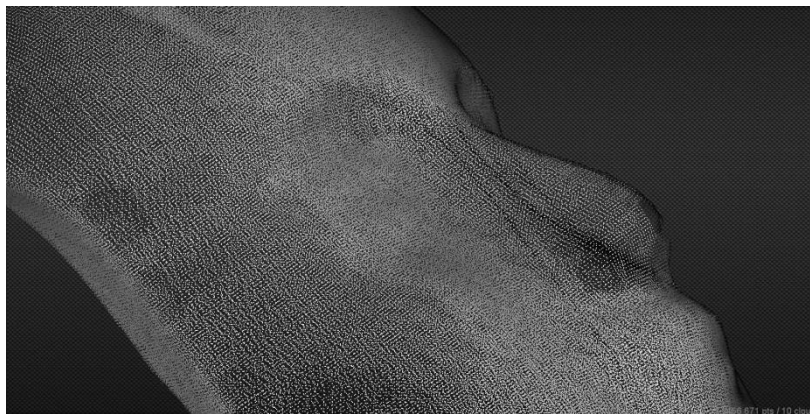
La démonstration fut passionnante pour nous quatre. Il était stupéfiant de voir réellement ce que nous avons pu lire sur Internet, à savoir la prise d'image et sa modélisation en direct avec seulement deux outils : un scanner et un ordinateur.

Nous avons choisi, avec Messieurs Breteau et Gautrelet, de scanner le visage que l'on peut voir ci-contre. Au départ, cette pièce était faite en métal, mais pour faciliter le scan il a été préférable de la peindre en blanc. En effet, le scanner utilisé fonctionne mieux lorsque la surface à scanner n'est pas brillante ni réfléchissante. Il faut aussi que cette surface ait des points particulièrement différents les uns des autres (comme sur l'arrête du nez qui ressort du visage) pour que le logiciel puisse reconstituer l'image.

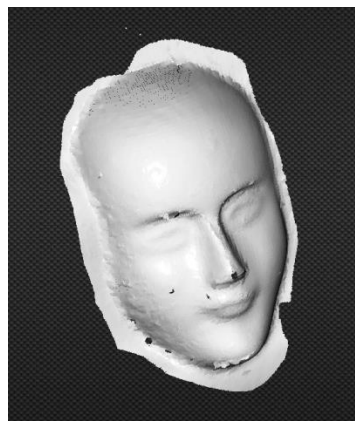


Tout est automatisé, l'Homme n'a que très peu de chose à faire avec un tel système. Une fois ce dernier mis en marche, il suffit de prendre en main le scanner et de tourner autour de la pièce afin de prendre différents angles de vues. Plus on prend d'images, plus le résultat sera précis.

Après avoir acquis plus d'une image, le logiciel les assemble et crée un maillage de points tel qu'on peut le voir sur la photo suivante (celle-ci a été prise après un certain nombre d'images assemblées !) :



Après avoir obtenu un tel maillage, on peut soit prendre de nouvelles images pour avoir un résultat plus précis, soit commencer à traiter l'image obtenue grâce au logiciel. Ce type de manipulation requiert une certaine connaissance du logiciel. M. Breteau a finalement obtenu l'image suivante, qui est clairement semblable à la photo précédemment montrée.



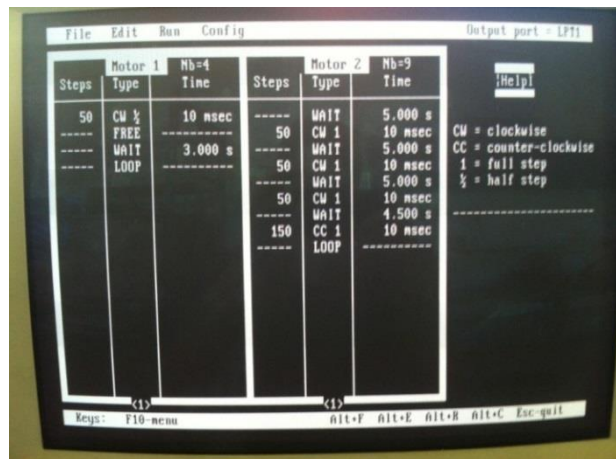
3.2. Expériences et résultats obtenus

3.2.1. Le premier montage

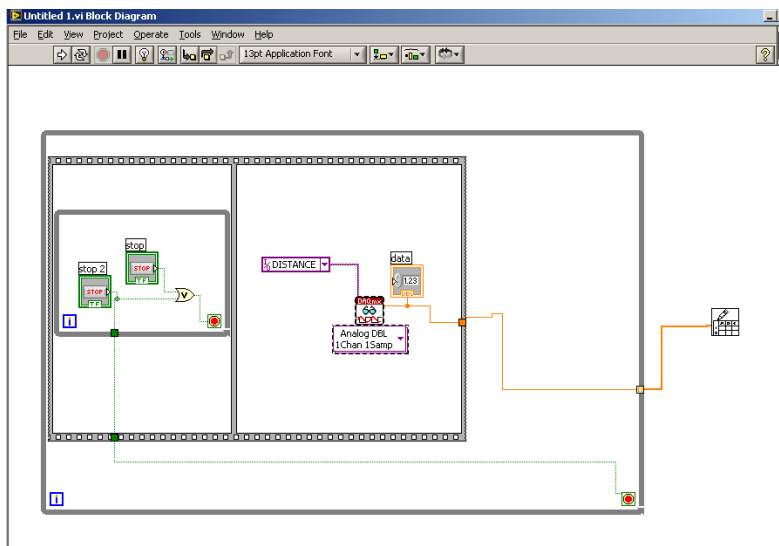
Après avoir compris le fonctionnement d'un scanner 3D et de la triangulation, nous avons eu plusieurs idées. La première fut de reprendre le projet réalisé en 2011 par des élèves participant à l'EC P6 tout comme nous.

Tout d'abord, nous avons longuement observé le montage existant et lu le rapport du projet de 2011. Nous nous sommes rendues compte et le professeur nous a confirmé, qu'ils n'avaient jamais réussi à faire fonctionner le système. En effet, ils n'avaient pas eu le temps car avaient reçu les fournitures trop tard dans l'année. Du coup, nous avons décidé de reprendre ce projet et de faire fonctionner le scanner sans modifier le montage existant.

Durant la première séance consacrée à ce montage, nous avons découvert le fonctionnement du capteur et des logiciels annexes. Le montage était contrôlé par deux ordinateurs. L'un permettait d'envoyer des commandes aux moteurs (la rotation et le mouvement vertical). Nous avons pu établir des petits programmes sur le logiciel mot_dos (permettant de commander des moteurs « pas-à-pas ») à l'image de celui-ci-contre :

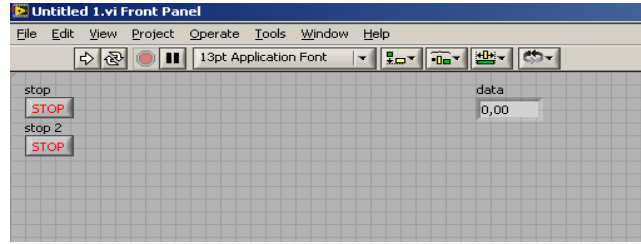


Le deuxième ordinateur gérait l'acquisition des données transmises par le capteur. Pour effectuer l'acquisition des données du laser, on utilise le logiciel Labview. Le laser fournit en sortie un courant. Puis celui-ci passe dans un convertisseur courant-tension.



Labview reçoit donc des données sous forme de tension. Pour acquérir les données, nous avons réfléchi avec l'aide de notre professeur à la création d'une interface simple. Grâce à Labview, nous avons donc créé un programme permettant de démarrer l'acquisition, puis, par un clic, d'enregistrer une mesure. Lorsque toutes les mesures sont prises, on stoppe l'acquisition, et le logiciel nous permet d'enregistrer les données sous forme de document texte.





Nous nous sommes alors servis du premier laser (celui de l'année dernière) pour prendre des mesures sur une pièce que nous avons posée à des intervalles de longueur différentes, afin de l'étalonner, ou tout du moins de vérifier que le graphe donné par le constructeur (donnant la tension délivrée par le laser en fonction de la distance mesurée) était correct. Nous avons transféré les données acquises sur Excel afin d'obtenir une distance à partir de la tension relevée par le capteur. Pour ce faire nous avons mesuré manuellement la distance « capteur-objet », ce qui nous a donné 1000 valeurs (proches, pour le même point) que nous avons moyenné, qui nous a donné le tableau suivant :

Numéro de la mesure	Tension en Volt	Distance en cm
1	0.9247	26.5
2	0.4146	30.0
3	0.5420	31.0
4	0.5611	34.0

Lors des mesures, il a fallu faire attention à deux choses :

- remplacer les '.' par des ',' pour que les chiffres puissent être interprétés par Excel,
- faire attention à ce que l'objet se trouve dans une zone linéaire du graphe donné par le constructeur du laser.

Nous avons également cherché à étalonner le deuxième moteur, responsable de la rotation du plateau. Après plusieurs tests, nous nous sommes rendues compte que nous ne parvenions pas à retomber de manière exacte sur le point que nous avons pris comme point de départ. Cependant nous sommes arrivées au tableau approximatif suivant :

Nombre de tour	Nombre de “step”	Delay (en ms)
1	50	25 ou 50
1/2	25	25
1,5	75	25 ou 50
2	100	50
3	150	50
4	200	50

De plus le moteur n'était pas adapté à l'alimentation, qui a brûlé deux fois. Nous nous sommes alors plutôt concentrées sur le capteur de distance et avons remis l'étude du plateau rotatif à une autre séance.

Lors de la séance suivante, lorsque nous avons voulu finir l'étalonnage du capteur, nous avons, à notre plus grande surprise, obtenu des valeurs totalement incohérentes avec celles relevées la semaine précédente. Après en avoir discuté avec M. Gautrelet, nous nous sommes demandé si ce n'était pas dû à la luminosité environnante. C'est pourquoi nous



avons réalisé à nouveau les mesures mais cette fois avec un carton occultant pour limiter l'impact de la luminosité ambiante. Nous avons également pris des valeurs sans carton pour voir si oui ou non l'utilisation du carton était justifiée. Nous avons obtenu le tableau de valeurs suivant :

Distance en cm	Valeurs du 8/03	Sans carton	Avec le carton
26.5	0.925	-	-
30	0.415	0.75	0.75
31	0.542	0.71	0.70
34	0.561	0.54	0.52
37	-	0.49	-

Après cela nous nous sommes demandées si le capteur parvenait vraiment à l'objet ou s'il visait trop haut, ne parvenant pas à atteindre le bas de la glissière. Nous avons alors surélevé la pièce à mesurer, et obtenu les valeurs suivantes :

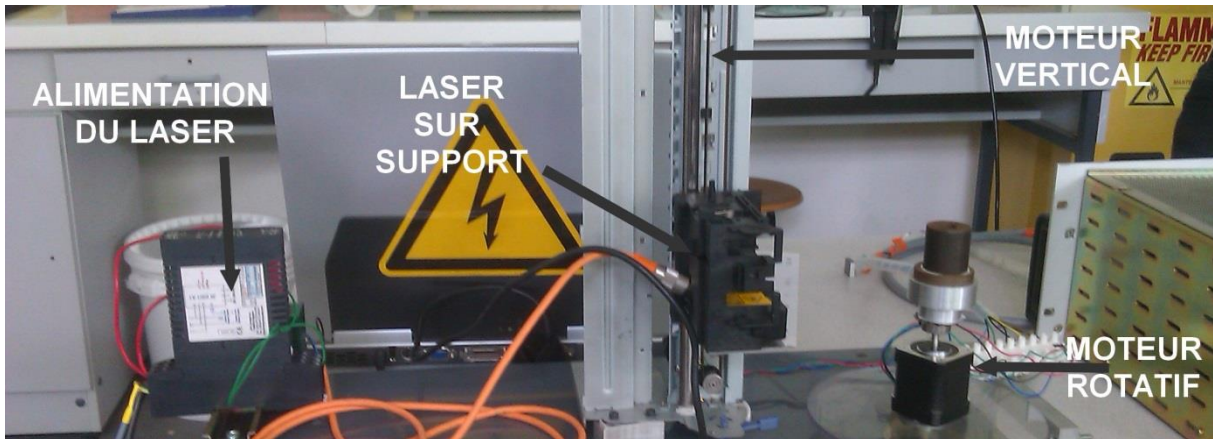
Distance en cm	Sans carton	Avec le carton
37	0.18	0.21
30 (bord du plateau de rotation le plus proche du capteur)	-	0.62
47 (extrémité du plateau de rotation)	-	-0.12

En théorie nous devrions trouver 2,5V pour 20cm et -0,5V pour 150cm, en faisant ces mesures nous avons remarqué que nos valeurs étaient totalement fausses. Nous avons donc décidé d'un commun accord avec le professeur qu'il y avait trop de problèmes d'étalonnage et que nos valeurs n'étaient pas en accord avec la courbe donnée par le fournisseur. Nous avons également pensé qu'ayant une zone sensible très large (de 20 à 150cm) il avait des difficultés à avoir une variation significative de tension pour une pièce ayant des variations de profondeur de l'ordre du millimètre ou centimètre. C'est pourquoi après avoir passé 1 séance et demie sur ce capteur et le montage que nous avons récupéré du dernier projet, nous avons décidé d'arrêter avant de perdre plus de temps. Nous avons ainsi compris pourquoi l'équipe de projet précédente n'avait pu voir marcher son système.



3.2.2. Deuxième montage : utilisation d'un nouveau laser plus précis

Finalement, nous avons décidé d'utiliser un laser différent du précédent à priori devrait être plus précis, et ayant une plage d'acquisition de mesures plus restreinte : de 3 à 13cm. De plus, nous pouvions voir quel endroit le laser mesurait car nous pouvions voir un point rouge. Tout cela diminuait le risque d'imprécisions par rapport au capteur précédent. Enfin, nous avons démonté l'ancien capteur et réfléchi à une manière de fixer notre nouveau laser. Il fallait qu'il soit plus proche du plateau que le précédent, et au final le montage obtenu fut le suivant :



L'objet à scanner est posé sur une plate-forme rotative entraînée par un moteur. Le laser et son capteur sont fixés sur un support rattaché à un rail vertical. Cela permet au laser de se déplacer verticalement. Combiné avec la rotation de la plate-forme, cela permet au laser de parcourir tout l'objet lors de l'acquisition des données.



D'autre part, durant cette séance nous espérions commencer les mesures d'un cylindre. Nous avons fait fonctionner le premier moteur (permettant le déplacement vertical du capteur) mais un problème s'est présenté lorsque nous avons voulu le démarrer : il ne bougeait pas alors que le programme StepEasy aurait dû fonctionner. Notre professeur nous a finalement résolu le problème qui était lié à l'ancienneté de l'ordinateur et du mode « Turbo » du processeur qui n'était pas activé. Nous avons également été confrontées à un problème avec le socle tournant : nous ne parvenions pas à le faire tourner d'un nombre de tours exact : on obtenait toujours un léger décalage avec le point sur lequel on partait avant de faire tourner le socle. Nous avons pensé que ce décalage pouvait s'expliquer par les à-coups du moteur, qui n'était pas adapté pour du pas à pas (conçu pour tourner en continu) : on lui demandait de faire de trop petits angles, il avait des difficultés pour freiner, du fait de son inertie.

Nous avons alors réfléchi à une autre solution et avons utilisé le même type de moteur que celui qui se déplace sur la glissière, qui ne nous avait jamais posé de problème avec l'alimentation. De plus ce nouveau moteur permettait à l'objet de se situer dans une zone où le moteur vertical supportant le capteur se déplaçait sans heurts. En effet lors de nos manipulations nous avons pu constater qu'il n'effectuait pas le nombre de pas demandés lorsqu'il était trop bas ou trop haut sur la glissière.

Grâce au logiciel Mot_dos, nous avons pu faire faire un tour entier à l'objet. La lumière de laser est revenue exactement sur le point blanc que l'on avait marqué auparavant. Nous avons obtenu le même résultat lorsque nous avons fait trois tours d'affilée. Le fait de faire

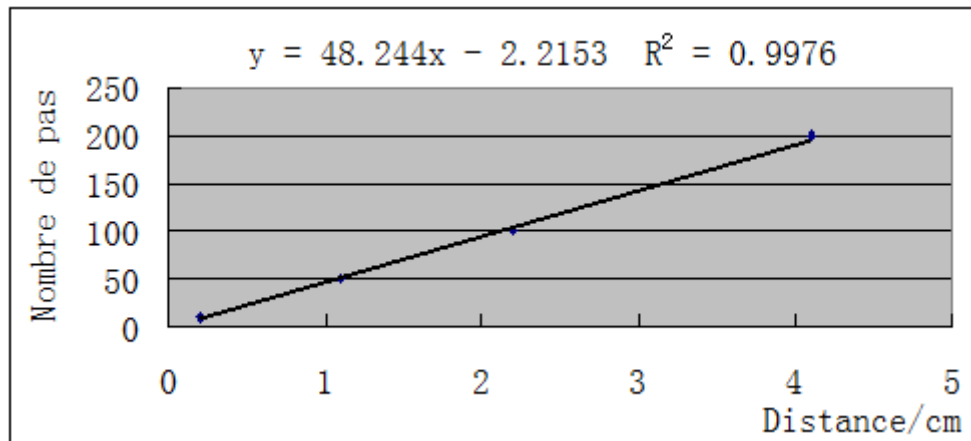


plusieurs tours à la suite aurait exagéré un éventuel décalage sur un tour. Puisque nous n'en avons pas, nous en avons conclu que le moteur était plus fiable que le plateau tournant. Nous avons gardé la valeur de 200 pas pour un tour.

Ensuite, pour pouvoir étalonner le moteur sur la glissière et ainsi savoir quelle distance parcourait le chariot pour un nombre de pas donnés, nous l'avons fait monter petit à petit, et mesuré les intervalles où il s'arrêtait. De plus, lorsque nous l'avons fait redescendre du nombre total de pas que nous l'avons fait monter, le moteur est revenu au même endroit d'où il était parti, ce qui était plutôt encourageant pour nos mesures.

Nous avons obtenu des valeurs suivantes :

Nombre de pas	Distance (cm)
10	0,2
10	0,2
50	1,1
50	1,1
100	2,2
100	2,2
200	4,1



L'étalonnage du moteur qui déplace le laser nous donne l'équation suivante : la distance parcourue en fonction du nombre de pas :

$$y = 48,2 x - 2,2$$

(x : distance (en cm) ; y : nombre de pas)

Pour mesurer la distance entre le laser et le centre du plateau rotatif (devenu le centre du moteur effectuant la rotation de la pièce), nous avons mis le bord d'un objet au centre. Puis nous avons pris la valeur de tension qui a été trouvée par le logiciel de LabView pour calculer la distance (en cm) d'après l'équation que nous avons calculée avant qui donne la distance entre le laser et l'objet en fonction de la tension mesurée :

$$f(x) = 0,85 x + 4,6$$

x : tension (en V)
f(x) : distance (en cm)

Nous avons obtenu une tension de 8,25 volt, nous avons calculé que cela correspondait à une distance de 11,616 cm.



Scanner un objet

Pour commencer, il faut placer le laser à la base de l'objet, en utilisant le moteur vertical. Puis, pour scanner l'objet, nous avons choisi de prendre les points à un angle donné et une hauteur variable. Le laser monte de la base de l'objet jusqu'à le dépasser, avec un pas défini au départ. Puis, le laser redescend à la base de l'objet, et le plateau effectue une rotation définie. Puis on prend de nouveaux des mesures.

Le fait de faire une mesure au-dessus de l'objet permet d'obtenir une valeur très éloignée des mesures effectuées sur l'objet. Dans les données obtenues, cette valeur aberrante permet de savoir quand l'angle change.

Après les étalonnages, nous avons aiguillé la discussion vers le traitement des coordonnées des points obtenus. Nous avons décidé de créer une matrice de 3 colonnes (x, y, z). Il ne nous restait plus qu'à trouver comment dessiner les points contenus par la matrice grâce à Matlab.

Le logiciel que nous avons utilisé pour traiter les données obtenues est Matlab. Le premier problème qui nous est apparu après avoir obtenu les données, a été de permettre la lecture du fichier par Matlab. En effet, il a fallu commencer par remplacer toutes les virgules par des points pour permettre la lecture des nombres décimaux par Matlab. Puis, grâce aux valeurs mesurées lors du dépassement de l'objet, on range les données par ligne correspondant à un angle donné.

Pour terminer, on exécute le programme Matlab avec ces données pour obtenir la représentation de l'objet en 3D.

Programme Matlab

Ce programme permet grâce aux données obtenues de représenter l'objet scanné en 3D. Tout d'abord, le programme demande à l'utilisateur les valeurs du nombre de pas de montée, du nombre de montées effectuées, et de l'angle de rotation entre chaque mesure. Puis l'utilisateur doit sélectionner la matrice de point à importer. Ensuite, le programme effectue les opérations suivantes :

- a) Les données acquises avec Labview sont des tensions, et grâce à la courbe d'étalonnage faite précédemment, les tensions sont transformées en longueurs. Mais la longueur obtenue est la longueur laser objet. Pour obtenir le rayon r de l'objet, on fait $D-d$.

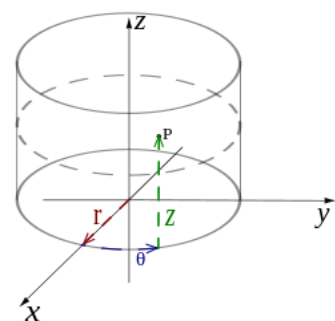
D : distance entre le laser et le centre

d : distance entre le laser et la surface de l'objet

Θ : angle de rotation h : hauteur

r : rayon

$$r = D - d$$



- b) En fonction du nombre de fractions de tours, une matrice d'angle en radian est créée.
- c) En fonction du pas de montée et du nombre de montées, une matrice de hauteur est créée.
- d) Enfin, une matrice finale est créée, avec en première colonne l'angle de rotation, en deuxième colonne, le rayon de l'objet, et en troisième colonne, la hauteur. Puis ces coordonnées cylindriques sont transformées en coordonnées cartésiennes avec la fonction Pol2cart. Et pour finir, on obtient le nuage de point en 3D de l'objet.



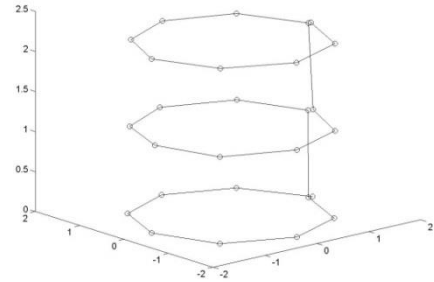
3.2.3. Résultats obtenus

Le cylindre

La première pièce que nous avons souhaité modéliser, en accord avec notre responsable, fut un cylindre. Ce type de forme nous semblait plutôt simple à réaliser et nous préférons commencer par quelque chose de simple pour vérifier notamment le bon fonctionnement de nos programmes.

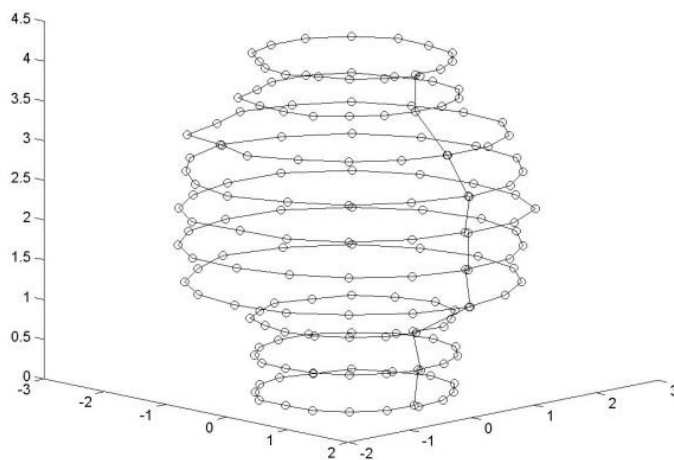
Après de nombreux tests ayant échoués, nous avons modifié notre programme Matlab et sommes parvenue à obtenir le graphe ci-contre.

On a rapidement remarqué qu'il nous fallait faire davantage de points pour obtenir une forme plus précise du cylindre (ici les cercle ressemblent plutôt à des octogones...). Néanmoins, nous avons compris que cela fonctionnait et avons décidé de passer à une pièce plus complexe.



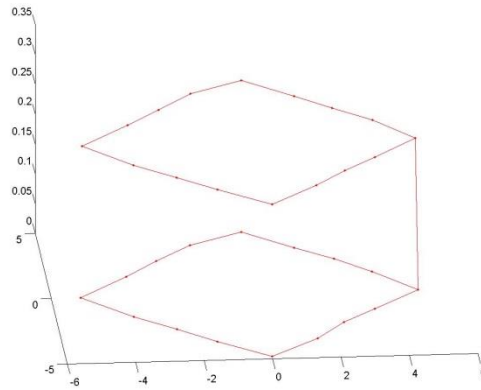
La pile de cylindre

Après avoir résolu tous nos problèmes de réglages et d'étalonnages, nous avons essayé de compliquer la tâche en faisant une pile de cylindre avec plus de points. Cela impliquait un programme plus compliqué pour les moteurs (calcul du temps de montée et descente avant de faire une rotation d'angle $\pi/8$). Nous n'avons étudié que les trois cylindres du bas (voir photo) car le cylindre du dessus avait été représenté auparavant. Nous avons obtenu des résultats très satisfaisants que l'on peut voir ci-après.



La pièce carrée

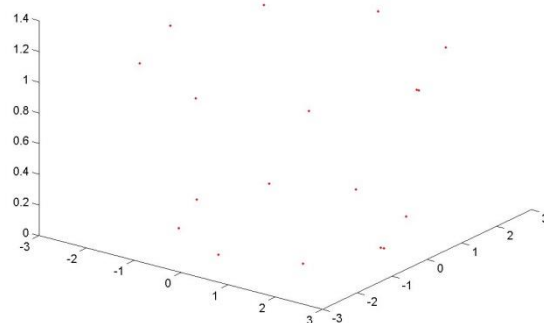
Cette fois l'idée était de voir quelles pouvaient être les limites de notre scanner, et même plus précisément de notre laser. En effet, nous craignons que le faisceau du laser ne revienne pas sur le capteur lorsque ce faisceau serait émis sur l'angle droit de notre pièce. Finalement, nous avons pris des mesures sur deux niveaux et avons obtenu un nuage de point parfaitement représentatif (voir ci-après). Ainsi, il semble que ce ne soit pas une limite de notre scanner.



La pièce conique

Pour finir, un dernier test a été effectué pour savoir si une pièce conique ayant un angle important pouvait empêcher le bon fonctionnement du laser. En effet, nous avons pensé que le faisceau serait trop dévié par ce genre de pièce et que du coup il ne reviendrait pas sur la zone du capteur. Nous n'avons pris des valeurs que sur deux niveaux car cela était suffisant pour vérifier que cela marchait.

On peut observer sur le graphe que les données sont valides :



Cette expérience fut la dernière pour nous, et ce fut un succès ! Ainsi nous n'avons pas trouvé de limite à notre scanner, en tout cas pas pour les pièces pouvant être scannées.



4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

4.1. Conclusions personnelles

Lucie :

Ce projet a été pour moi très enrichissant, autant au niveau de l'apprentissage qu'au niveau personnel. En effet, le projet mis en oeuvre par notre groupe était très complet, car il regroupait de la recherche, de la fabrication, de la programmation, et de l'expérimentation. Il a été intéressant de pouvoir travailler sur tous ces points et de mener notre projet jusqu'à son accomplissement. De plus, l'ambiance dans le groupe était très bonne, ce qui a encouragé chacun à exprimer son point de vue à chaque étape du projet, et en a donc facilité l'avancement. Pour finir, à l'issue de ce projet je suis très heureuse d'avoir réussi avec mes camarades à faire fonctionner notre magnifique scanner 3D.

Xiren :

Grâce à notre projet, j'ai pu développer des connaissances notamment en ce qui concerne la conception d'un scanner 3D et la modélisation de volume grâce à celui-ci. Bien que ce que nous avons étudié m'intéresse beaucoup, je sais aussi que cela nécessite certaines compétences spécifiques pour en comprendre le mécanisme. Du coup, j'ai écouté avec attention ce que notre professeur nous a expliqué et pris du temps pour chercher plus d'informations en ligne.

De plus, si nous avons rencontré des problèmes, nous avons fait des efforts afin de les résoudre par n'importe quelles méthodes. Après nombreuses discussions, nous avons fait des changements pour améliorer le montage jusqu'à obtenir des performances stupéfiantes.

Toutes mes attentes concernant ce travail ont été satisfaites et je ne regrette pas d'avoir choisi ce sujet. J'ai réussi à comprendre le fonctionnement et cela était très important pour moi. J'ai travaillé avec des camarades très ouvertes qui m'expliquaient vraiment bien tout ce que je leur ai demandé.

Céline :

Ce projet m'a intéressée dès lors que j'ai lu son intitulé dans la liste donnée au début du semestre. Je ne m'attendais pas réellement à ce que nous allions faire, mais je n'ai pas été déçue. Cela mêlait vraiment des compétences et notions qui m'intéressaient, à savoir des mathématiques avec la triangulation et de la programmation avec divers logiciels.

Par ailleurs, j'ai trouvé une bonne cohésion dans notre groupe, ainsi qu'une bonne entente avec notre enseignant ce qui a rendu nos séances de projet très agréables aussi bien que productives la plupart du temps.

Finalement, j'ai été ravie de réaliser ce projet, et encore plus d'être arrivée presque au bout de toutes nos espérances. Le manque de temps a malheureusement joué contre nous car nous avons encore beaucoup d'idées, mais j'espère bien qu'un futur groupe prendra le relais et mènera ce scanner aussi loin que possible !

Lydia :

Lorsqu'il m'a été attribué ce sujet, j'ai été un peu inquiète car ça me paraissait complexe et j'espérais avoir un bon encadrement pour que l'on puisse avancer. Mais au final, après nos recherches documentaires, une bonne prise en main du logiciel Matlab que nous utilisons dans une autre matière, et notre bonne équipe, nous sommes arrivées à bien avancer sur la



fabrication du scanner et nous sommes parvenues à des résultats concluants, grâce notamment à l'aide apportée par le professeur qui nous encadrait, qui nous a donné de bons conseils aux moments où nous en avons besoin. J'ai donc été rapidement rassurée.

Je trouve que nous nous sommes bien entendues dans le groupe également, ce qui a rendu les séances bien plus agréables que si nous avions eu quelques tensions, tout en restant efficaces. En tout cas j'ai apprécié les séances de P6, surtout les dernières car nous avons avancé en résolvant une grande partie des problèmes que nous avons eu lors des premières séances, ce qui était plutôt stimulant. Ce projet m'a apporté plus d'expérience dans la gestion de projet dans la mesure où il fallait gérer l'avancement du projet au cours du temps pour être au plus proche du planning que nous avons prévu et ainsi ne pas prendre trop de retard.

Au final je crois que nous avons réussi à construire un scanner plutôt performant, qui peut encore être amélioré en arrivant à centraliser la gestion des moteurs et l'acquisition des points sur la même machine par exemple, ce qui permettrait d'automatiser l'acquisition de points et d'avoir un nuage de points plus dense.

4.2. Conclusion et perspectives

Dans le cadre de notre projet, nous avons réalisé un scanner 3D qui permet d'analyser des objets proches pour recueillir des informations précises sur la forme. Les données ainsi collectées peuvent être utilisées pour construire des images de synthèse en trois dimensions.

Dans un premier temps, nous avons utilisé le montage existant. Après avoir rencontré des problèmes d'étalonnage, nous avons fait quelques changements permettant d'optimiser ce montage.

Ce projet a été enrichissant. Nous avons désormais davantage de connaissances en lien avec le scanner 3D. Nous avons aussi acquis quelques notions de programmation grâce à l'utilisation de Matlab, Labview et du logiciel Mot_dos.

Dans l'ensemble le travail d'équipe a été agréable. Nous avons été pleinement autonomes lors du développement de ce projet, et nous avons été confrontées à de nombreux problèmes et dans la plupart des cas nous avons pu trouver une solution alternative afin de les résoudre partiellement. Nous nous sommes rendues compte de la pertinence de ce projet dans notre formation.

En ce qui concerne les perspectives d'évolution de notre scanner 3D, elles sont détaillées dans une annexe prévue à cet effet. Néanmoins, deux nous semblent plus importantes et nous aurions aimé qu'elles puissent être réalisées. D'une part, nous aurions voulu avoir le logiciel gérant les moteurs sur le même ordinateur que celui qui gère la réception des données. D'autre part, il aurait été bien de rendre le scanner un peu plus agréable à regarder, par exemple en ajoutant une coque tout autour de la rampe d'imprimante cachant ainsi les fils et autres composants parasites.



5. BIBLIOGRAPHIE

ARTEC 3D SCANNERS. *Scanners 3D couleurs.* <http://www.contact-3d.fr/>, 16 juin 2013.

BILLON Ronan. *Copos, recette pour fabriquer son scanner 3D. Principe.* <http://copos.berlios.de/documentations/bricolage/x14.htm>, 16 juin 2013.

GEOMAGIC. *3D Scanners, a guide to 3D scanner technology.* <http://www.rapidform.com/3d-scanners/>, 16 juin 2013.

GPS AUTO. *GPS Auto, fonctionnement.* <http://www.gps-auto.org/fonctionnement-gps.html>, 16 juin 2013.

MAYER Erwin. *Se repérer sur la Terre.* http://mayerwin.free.fr/index.php?p=gnss_utilisateur.html, 16 juin 2013.

WIKIPEDIA. *Triangulation.* <http://fr.wikipedia.org/wiki/Triangulation>, 16 juin 2013.

WIKIPEDIA. *Coordonnées cylindriques.* http://fr.wikipedia.org/wiki/Coordonn%C3%A9es_cylindriques, 16 juin 2013.

WINKELBACH Simon. *Panorama des techniques de scan 3D Low-cost.* <http://www.3dvf.com/dossier-770-1-scan-3d-low-cost.html>, 16 juin 2013.

Crédits d'illustration :

Principe de la triangulation, Wikipédia	p8
Satellites GPS, http://mayerwin.free.fr	p9
Scan laser d'une coupe, http://copos.berlios.de/documentations/bricolage/x14.htm	p10
Scan par lumière structurée, http://www.rapidform.com/3d-scanners/	p11
Coordonnées cylindriques, Wikipédia	p18
Les autres photos et impressions écrans ont été prises par nous-même lors du projet.	



6. ANNEXES

6.1. Programme Matlab : nuage de points

```
clear all; close all;

% VARIABLES
pasmontee = input('Nombre de pas de
montée pour un intervalle : ');
nbMontees = input('Nombre montées
effectuées : ');
fractionNbTours = input('Nombre de
fractions de tours : ');

% IMPORTATION DE LA MATRICE DE
DONNEES
[a] = uigetfile('*. *');
data = load(a);

% PASSAGE TENSION → DISTANCE =
RAYON DE LA PIECE
data = 11.8 -(0.85*data + 4.6)

% CALCUL DE LA MATRICE D'ANGLE
teta = [ ]
for i = 1:fractionNbTours+1
    ang(i) = (i-1)*2*pi/fractionNbTours;
    teta = [teta
            ang(i)];
end

% CALCUL DE LA MATRICE DE
HAUTEUR
hauteur = [ ]
for i = 1:nbMontees+1
    haut(i) = (i-1)*(pasmontee + 2.2)/48 ;
    hauteur = [hauteur
              haut(i)];
end;

% CALCUL DE LA MATRICE FINALE
taille = size(data);
rhof = [ ];
for i = 1:taille(1,2)-1
    rhof = [ rhof
            data(:,i)];
end;

tetaf = [ ];
for i=1:taille(1,2)-1
    tetaf = [tetaf
            teta];
end;

hauteurf = [ ];
for i = 1:taille(1,2)-1
    for j = 1:fractionNbTours+1
        hauteurf = [hauteurf
                    hauteur(i)];
    end;
end;

[X,Y,Z] = pol2cart(tetaf,rhof,hauteurf);

% AFFICHAGE DE L'OBJET
plot3(X,Y,Z,'r')
```


6.2. Propositions de sujets de projets

Au cours de la réalisation d'un scanner 3D, nous nous sommes rendues compte qu'il y avait quelques propositions à faire concernant notre sujet. Voici quelques propositions d'amélioration pouvant être réalisées lors d'un futur projet :

- Nous avons modélisé le scanner 3D à l'aide des deux ordinateurs séparés, nous souhaitons simplifier le système. Pour cela il faudrait réunir la gestion des moteurs et celle du laser depuis le même ordinateur sur Labview. Cela nous semble faisable.
- Nous pensons aussi qu'il serait préférable d'obtenir automatiquement les données. C'est-à-dire avoir un système entièrement automatisé. Ainsi il ne serait pas nécessaire de cliquer sur le bouton à chaque fois que l'on souhaite prendre une valeur.
- Par ailleurs, lorsque nous avons fait des étalonnages à la main, nous avons réalisé que cela manquait de précision, notamment pour le moteur qui gère le déplacement vertical du laser. Nous proposons alors soit de faire des graduations sur la glissière de l'imprimante ainsi que sur le plateau tournant, soit pour la position verticale d'utiliser un outil mesurant précisément la distance parcourue qui soit relié à l'ordinateur.
- Enfin il pourrait être bien de solidifier ou remplacer la glissière formée par le composant d'une imprimante. En effet cela pose problème lorsque l'on monte un peu le moteur : on perd en précision et des à-coups se font sentir sur le moteur et empêchent de faire des mesures précises.

D'autre part, nous avons eu l'idée de créer un scanner totalement différent et utilisant un système de webcam. Ces webcams ont été achetées par notre enseignant responsable mais nous n'avons pas eu le temps de tester le système. Il existe des logiciels gratuits permettant de reconstituer un objet simplement à partir d'images.

Enfin, la partie concernant le nuage de point pourrait elle aussi être développée et améliorée en cherchant par exemple un moyen de faire un maillage des points permettant alors d'obtenir une pièce plus réelle. Aussi, il pourrait être intéressant de « tourner » autour de la pièce et d'en obtenir des cotes facilement.