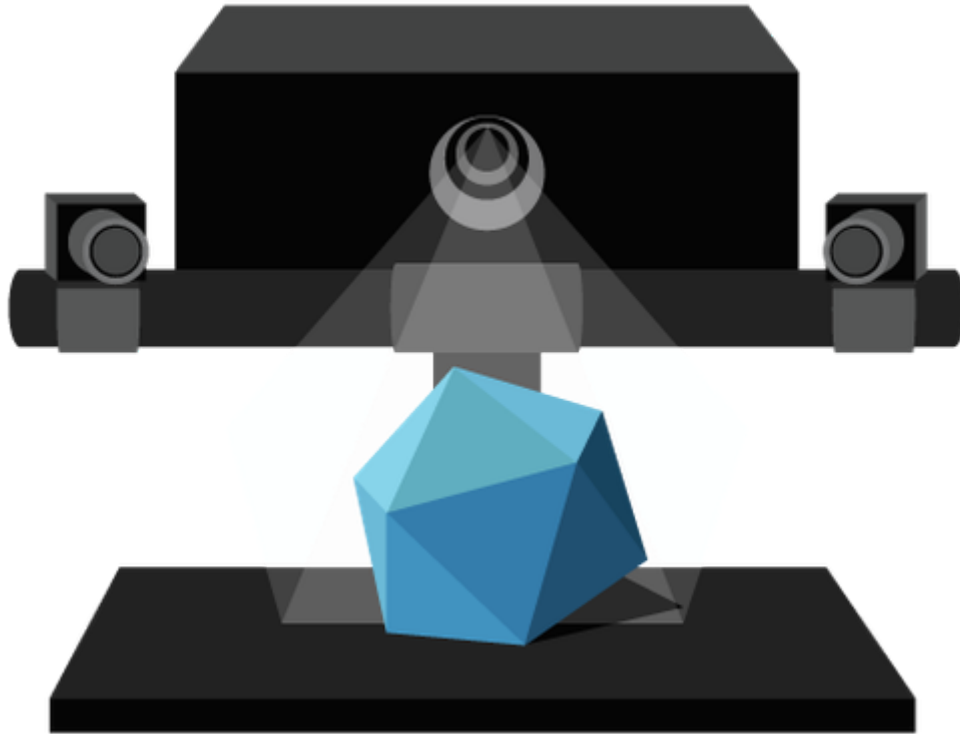


# SCANNER 3D



Calliau Clément ; Lejeune Erwin ; Jacquot Axel  
Bordeaux Ynov Campus  
Aéronautique et Systèmes Embarqués

09/01/2019



## TABLE DES MATIÈRES

SCANNER 3D	1
ABSTRACT	3
INTRODUCTION	3
OBJECTIFS	3
ETAT DE L'ART	4
TECHNIQUES DE DIGITALISATION 3D	4
PROJETS EXISTANTS	6
CAHIER DES CHARGES	7
LE BESOIN	7
FONCTIONNALITÉS	7
SOLUTIONS TECHNOLOGIQUES	8
CHOIX A FAIRE	9
TECHNOLOGIES POSSIBLES	9
TECHNOLOGIES ENVISAGÉES	10
GESTION DU PROJET	11
ANNEXE	12
DIAGRAMME DE CAS D'UTILISATION	12
SOURCES	13

## **ABSTRACT**

Le développement rapide de solutions hardware et software dans le domaine du traitement de l'image digital a propulsé la recherche en computer vision pour les applications industrielles. Le développement d'outils électroniques innovants et la tendance baissière de leur prix rend possible de nouvelles avancées encore possible seulement dans nos imaginations il y a quelques décennies. Concrètement, la première étape de la création du modèle 3D d'un objet réel est la capture des informations géométriques de la surface de l'objet physique. Ces objets réels peuvent être aussi petits qu'une pièce de monnaie et aussi grands qu'un bâtiment.

## **INTRODUCTION**

Le scan 3D est une technique permettant de capturer la forme d'un objet en utilisant un outil scannant sa surface. Le résultat obtenu est un fichier 3D informatique pouvant être stocké, édité et imprimé.

Plusieurs technologies permettent de scanner en 3D des objets, environnements et personnes, chacune a ses avantages, ses inconvénients. Certaines technologies sont aussi capable de capturer en plus du volume et des dimensions, les couleurs et l'aspect du sujet numérisé, soit la texture. Compatibles avec la CAO et l'impression 3D, le scanner 3D permet d'effectuer de la rétro-ingénierie et à l'heure actuelle, la modélisation en trois dimensions s'accroît continuellement. En effet, on retrouve cet aspect dans un nombre domaines très variés :

- Topographie : architecture, plans d'intérieur et de façade, relevés industriels, ouvrage d'arts, conservation du patrimoine.
- Conception : maquette de projets grande échelle, aéronautique, automobile, joaillerie.
- Jeu vidéo : amélioration du graphisme vers un réalisme grandissant.

La technologie est aussi utilisée dans le médical, avec des applications dans le soin dentaire, par exemple.

Nous discuterons des différentes techniques de numérisation d'objets trois dimensions, des potentielles avancées et des avantages et inconvénients des méthode étudiées. Six grandes catégories peuvent être étudiées, toutes reposant sur des principes différents.

## **OBJECTIFS**

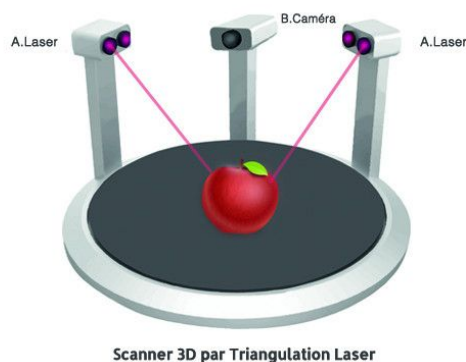
Après avoir fait un état de l'art et analysé les différentes solutions existantes, faire un choix de technologie ou de croisement de technologie à utiliser pour avoir un scan 3D automatisé d'objets d'une taille réglable par l'utilisateur avec un maximum fixé. Ce scanner devra embarquer une carte microcontrôleur pour effectuer les calculs nécessaires à l'analyse de la surface du sujet et la reconstitution du nuage de points, dans un format 3D au choix par l'utilisateur.

## ETAT DE L'ART

### TECHNIQUES DE DIGITALISATION 3D

Dans ces six catégories, on retrouve deux techniques liées à l'utilisation de la technologies laser : **la lasergrammétrie et la triangulation laser**. La première est connue puisque le capteur LIDAR utilise ce principe : elle est basée sur le calcul de la durée mise par un laser entre l'aller et le retour à la surface étudiée. On utilise ici la vitesse de la lumière et un calculateur précis mesurant la durée du trajet. En répétant l'impulsion un grand nombre de fois, on obtient une quantité d'informations nous permettant de déterminer la surface de l'objet grâce à ses -variations de distance à la source du laser.

Dans le cas de la triangulation laser, le processus repose sur trois éléments principaux : un laser, une caméra et l'objet à numériser.



Le laser vient se déformer au contact de la surface scannée, puis la caméra permet d'analyser la déformation du signal laser sur les reliefs de l'objet et détermine grâce à des calculs trigonométriques sa position dans l'espace. On obtient à la fin du scan un nuage de point permettant de reconstituer un objet 3D.

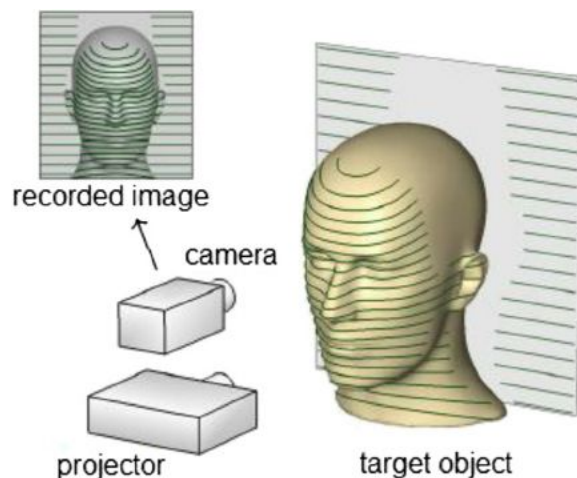
Cette méthode a un prix réduit et de nombreux projets DIY ont été basé sur ce choix. Elle permet d'obtenir

rapidement un résultat avec une précision de l'ordre de 0.01 mm.

Valable aussi pour le LIDAR, un majeur inconvénient est celui des surfaces transparentes ou réfléchissantes, le processus peut s'avérer fastidieux, mais contournable grâce à une poudre blanche, par exemple.

Sa portée limitée est aussi un défaut majeur puisque réduit la gamme d'applications possibles.

Le scan 3D par **lumière structurée** est une autre catégorie, utilisant des motifs de lumière projetée et une caméra. Il pointe sur le sujet une série de motifs géométriques (cercle, carré...) avec le projecteur de lumière et la déformation en fonction de la distance de la projection est capturée par la caméra décalé d'un angle  $\theta$ . Après un nombre d'échantillons capturé suffisant, on utilise un calculateur déterminant la forme 3D de l'objet en fonction de



l'ensemble des projections déformées analysées.

Bien plus rapide que le scan laser, la caméra n'a besoin de capturer que 12 images pour compléter le processus. Elle est plus coûteuse que la méthode laser et dotée d'une portée encore inférieure à celle-ci. Aussi, à faible distance et pour des objets de petite taille, la mise au point n'est souvent pas possible pour un appareil abordable, il est donc préférable d'utiliser un laser. D'après des études comparatives faites sur un grand nombre d'expériences, les précisions des Scanner Laser et des Scanner par Lumière Structurée sont identiques en utilisant la même caméra.



Avec la **photogrammétrie**, les modèles 3D sont obtenus en utilisant des photos du sujet. Le principe est simple : on prend une série de clichés du sujet, et le logiciel trouvera ensuite les points de concordance. Grâce au décalage créé par les différents points de vue, il est alors possible de déduire la position des caméras et de créer un nuage de points de concordance en

3D.

Malheureusement, d'autres facteurs entrent en compte, compliquant le processus de calcul : la profondeur de champ gêne la détection des points, le bruit numérique est une entrave qui ralentit le calcul par le logiciel et l'objectif de l'appareil photo applique des déformations qu'il faut analyser et compenser. Les logiciels ne sont vraiment apparus de façon pertinente que récemment pour ces raisons.

La méthode est très peu coûteuse et donne d'excellents résultats pour un débutant. Pourtant, elle n'est pas la méthode "go to", il est par exemple impossible de scanner avec précision un objet en mouvement avec une seule caméra, le coût peut donc être vite multiplié. Un mauvais éclairage, qu'il soit trop faible ou trop intense empêchera l'acquisition d'un modèle 3D précis et cohérent avec le sujet initial.

Le **scan 3D par contact** réalise plusieurs mesures d'une surface en la touchant. On en déduit les informations avec les variations de relief et un fichier 3D est créé. Très peu utilisé pour les projets à faible coût car très cher à automatiser, il est doté d'une très grande précision si les moyens sont mis en place.

La **radargrammétrie** constitue une technique permettant de prendre des mesures de l'aller retour d'une onde radio grâce à sa vitesse et la distance au sujet. Similaire au LIDAR, la différence réside dans la longueur d'onde utilisée. (126 nm - 10,6  $\mu$ m pour le LIDAR ; 2 cm pour la radargrammétrie.

## PROJETS EXISTANTS

### Logiciel de Microsoft.

Pour la Kinectv2, Microsoft a développé un logiciel pour les ordinateurs sous Windows 10, permettant de faire de la numérisation 3D. La configuration minimale pour l'utilisation d'un scan 3D via le logiciel est la suivante : un processeur deux cœurs ainsi qu'un processeur graphique et 4Go ram.

[Lien](#)

### Projet sous la Raspberry-PI.

Un projet de Scanner 3D avec une Raspberry-PI et la Kinect a bien été tenté mais le problème de ce projet est le fait que la Raspberry ne fait qu'afficher le visuel de la caméra de la Kinect.

[Lien](#)

Un autre projet de Scanner a cette fois été fait avec la technologie de triangulation laser : le système est composé d'un laser 5mW, d'une PiCam et d'une Raspberry Pi. La Raspberry contrôle le système et renvoie les données sur un ordinateur qui traite la modélisation 3D.

[Fabscan Pi Project](#)

### Ciclop.

Il s'agit d'un projet utilisant des lasers pour faire le scan 3D d'un objet posé sur une plateforme. Les lasers permettent de récupérer des données composées d'un nuage de point mais ces données sont stockées sur un fichier brut et ne sont pas directement traitées. Ce qui fait que pour le fonctionnement du scanner il faut en plus un ordinateur qui va faire le traitement des différentes informations. La précision reste assez pauvre même avec une taille maximum de 25cm.

Prix : 200€ sur [Amazon](#)

[Lien](#) d'un test du Ciclop.

### 3D Sense.

Ce scanner 3D est portable mais doit être lié à un PC. Il n'a pas réellement de limite de taille pour la cible vu qu'il est portable. Ce scanner utilise comme technologie de la lumière Structurée. La précision reste un problème, tout comme le scanner précédent.

Prix : 469€ sur [Amazon](#)

[Lien](#) d'un test du 3D Sense.

### NextEngine Ultra HD.

Scanner pouvant être portable ou sur plateforme. Il n'a pas de limite de taille pour l'objet à scanner. Fonctionne à l'aide de triangulation laser. Grâce à sa définition il permet de prendre plus de détail sur la cible.

Prix : 2560€ sur Aniwaa

[Lien](#)

# CAHIER DES CHARGES

## LE BESOIN

Le projet doit aboutir à la conception d'un système capable de scanner du gabarit d'un être humain et d'en renvoyer une image 3D utilisable par un logiciel et une imprimante 3D. Tout le système doit être embarqué.

## FONCTIONNALITÉS

Le projet devra répondre à plusieurs problématiques et répondre aux fonctionnalités suivantes :

- **Scanner une cible en 3D. (Principale)**
  - Le scanner doit capturer une image en 3 dimensions d'une cible.
  - La cible doit permettre au scanner de prendre une image nette.
  - Le scanner doit retourner l'image capturée selon le format souhaité par l'utilisateur.
  - L'utilisateur peut envoyer des ordres au scanner et lire son état.
  - Peut scanner une cible de taille humaine (définir la taille max précise).
- **S'adapter à des cibles de différentes tailles. (Secondaire)**
  - Le scanner peut scanner des objets de différentes catégories de taille.
  - L'utilisateur peut changer la position du scanner par rapport à la cible.
- **Être autonome.**
  - Gestion de la taille de la cible partiellement ou totalement autonome.
- **Fiabilité et industrialisation.**
  - Coupler plusieurs capteurs pour optimiser la précision de l'image.
  - Utiliser des technologies fiables industrialisables.
- **Bonus**
  - Envoyer le fichier à une imprimante 3D.

Une synthèse des fonctionnalités permet de mieux comprendre le workflow du scanner que l'on projette de concevoir. Elle est disponible dans l'annexe : [DIAGRAMME DE CAS D'UTILISATION](#).

## **SOLUTIONS TECHNOLOGIQUES**

Pour répondre au mieux aux fonctionnalités listées plus haut, nous avons pensé à certaines solutions.

### **Scanner une cible en 3d (Principale)**

- Le scanner doit capturer une image en 3 dimensions d'une cible.
- Système permettant la capture de la cible en 3D.
- La cible doit permettre au scanner de prendre une image nette.
- La cible doit tourner sur la plateforme à une vitesse permettant une prise nette.
- Le scanner doit retourner l'image capturée selon un format lisible.
- Le système est en capacité de stocker le fichier 3D.
- L'utilisateur peut envoyer des ordres au scanner et lire son état.
- IHM via écran tactile.
- Logiciel accessible pour n'importe quel utilisateur.
- Peut scanner une cible de taille humaine (définir la taille maximum précise).
- La plateforme sera dimensionnée en conséquence.
- La hauteur du scanner sera aussi réglable.

### **S'adapter à des cibles de différentes tailles (Secondaire)**

- Le scanner peut scanner des objets de différentes dimensions.
- Le moteur adapte sa puissance au poids détecté pour maintenir sa vitesse.
- L'utilisateur peut changer la position du scanner par rapport à la taille de la cible.
- Le scanner sera monté sur une glissière.
- L'utilisateur doit pouvoir rentrer la taille de la cible et le logiciel est capable de déterminer la position que doit avoir le scanner

### **Automatisation (Bonus)**

- La gestion de la taille de la cible est partiellement ou totalement autonome.
- Un capteur de taille indique la catégorie de la cible.
- L'IHM indique à l'utilisateur le réglage de la position du scanner sur la glissière.
- Des moteurs déplacent le scanner le long de la glissière selon la taille de la cible.

### **Fiabilité et industrialisation**

- Coupler plusieurs capteurs pour optimiser la précision de l'image.
- Optimisation de la prise 3D à l'aide de laser de ligne.
- Le scanner doit utiliser des technologies industrialisables.

### **Bonus**

- Lié à une imprimante 3D directement.
- La carte embarquée pourra envoyer des fichiers 3D au format choisi.



## CHOIX A FAIRE

- \* Déterminer la taille et le poids maximum de l'objet ou de la personne pouvant se trouver sur la plateforme pour être scanner.
- \* Faire le choix du langage pour l'interface graphique (Qt ou autre).
- \* Trouver un moyen pour que le système puisse gérer la taille de la cible.
- \* La carte microprocesseur reste à déterminer selon la puissance qui sera nécessaire.

### Les besoins matériels :

- **Alimentation secteur.**
- **Gestion Scanner :**
  - Carte Microcontrôleur.
  - Carte SD pour stocker le fichier 3D.
- **Scanner :**
  - Technologie du Scanner.
- **IHM :**
  - Ecran Tactile.
- **Boîtier pour l'IHM**
  - Lié à l'imprimante 3D
- **Gestion Plateforme :**
  - Carte Microcontrôleur
  - Moteur courant continu
  - Capteur de poids
  - Communication entre les deux cartes via câble ou sans fil à déterminer
- **Plateforme :**
  - Plateforme en acier pour pouvoir supporter un poids important

## TECHNOLOGIES POSSIBLES

### Caméra de profondeur :

Caméra capable de détecter la profondeur de champ. Type Kinect ou Intel RealSense.

- Avantage(s) : Peut être facilement testé sur un PC.
- Inconvénient(s) : Résolution (plus la cible est grande, moins l'objet 3D sera réussi)

### Impulsion Laser :

Mesure du temps de propagation d'un laser entre son émission et sa réflexion pour la réception.

- Avantage(s) : Peut scanner de grandes choses.
- Inconvénient(s) : Lent.

### Lumière Structurée :

Projection d'une lumière connue sous forme de grille sur la cible à scanner. Consiste à mesurer la déformation de la lumière et grâce à cette déformation de recréer l'objet en 3D.

- Avantage(s) : Résolution, vitesse de scan, capable de scanner des personnes en détails.
- Inconvénient(s) : Sensible à la lumière. (peut fausser la mesure)

### Triangulation Laser :

Projection d'un laser et étude de sa trajectoire pour en déduire la forme de la cible.

- Avantage(s) : Résolution, Précision.
- Inconvénient(s) : Sensible à la surface (Brillant ou Transparent)

Pour plus d'explications : [Lien](#) // Etat de l'art

## TECHNOLOGIES ENVISAGÉES

### Plateforme :

- Carte Microcontrôleur : STM32F4(Assez puissante pour gérer tous ce dont nous avons besoin capteur de poids, moteur
- Capteur de poids :
  - [Cellule charge compression.](#)
  - [Capteur de Poids \(Générationrobots\).](#)
- Moteur pour Rotation de la Plateforme :
  - A déterminer.
- Moteur Glissière :
  - A déterminer.

### Scanner :

- Carte Microcontrôleur (Capable de gérer de la 3D, un écran tactile, et assez de connectique pour les différentes parties présentes dessus)
  - Pico-Pi
  - IXM8
  - Carte Intel pour les systèmes embarqués
  - ...
- Carte SD :
  - A déterminer selon la taille des fichiers 3D obtenus.
- Scanner :
  - Caméra de profondeur :
    - Kinect (problème résolution de la caméra)
    - Intel RealSense (meilleure résolution)
- Laser :
  - A déterminer.
- Lumière structuré :
  - A déterminer.
- Touchscreen :
  - [Liste LSD](#)
  - [NHD-7.0-HDMI-N-RTXL-RTU](#)
  - [EA TFT070-84ATS](#)

## GESTION DU PROJET

### La liste des intervenants.

#### Client

- Pierre Aubry

#### Groupe de projet

- Calliau Clément
- Jacquot Axel
- Lejeune Erwin

### Répartition des tâches.

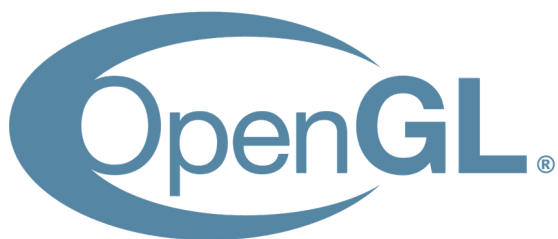
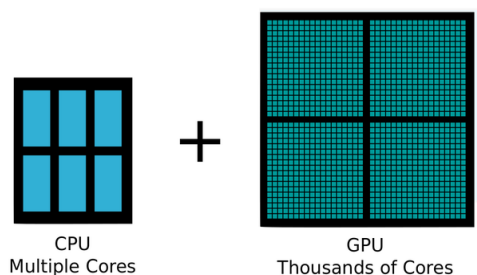
Partie\Membre	Axel	Erwin	Clément
Gestion de la caméra Traitement 3D	X		
Ecran			X
Développement du logiciel Linux pour l'utilisation du scanner	X		X
Plateforme (Gestion Moteur, Gestion glissière, capteur de poids) gestion de la carte microcontrôleur.		X	
Configuration du Linux embarqué (yocto) sur la carte micro principale			X
Conception du squelette de la plateforme		X	
Rédaction de la documentation du système		X	
Rédaction, mise en forme et rassemblement des parties pour le dossier		X	

## RÉALISATIONS

### CAMÉRA DE PROFONDEUR

#### CALCUL 3D

**GPU.** Un processeur graphique permet d'assurer les calculs d'affichage et 3D. Il s'agit d'une structure parallèle formée de plusieurs cœurs permettant d'effectuer plusieurs tâches en même temps. Ces cœurs ne sont pas aussi performants que les CPUs mais plus nombreux, ils sont donc utilisés pour effectuer des calculs 3D ou d'affichage car les calculs sont moins lourds mais plus nombreux.



**OpenGL.** C'est une API graphique qui est la plupart du temps déjà intégrée au GPU, elle permet d'utiliser le processeur graphique pour effectuer les différents calculs pour le traitement 3D et pour l'affichage.

**Vulkan.** c'est une API graphique, il s'agit de l'API qui succède à OpenGL. Il a pour but à terme de remplacer OpenGL puisque plus adapté aux architectures informatiques moderne. En 2016, Nvidia, AMD et Intel ont sorti des versions bêta de leurs pilotes supportant Vulkan. Le support est donc là pour que notre application 3D soit durable et maintenable.



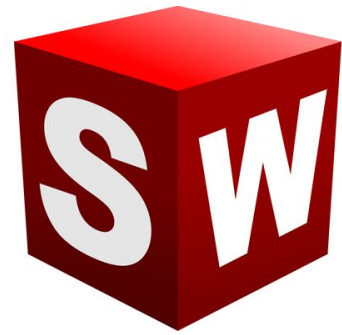
#### LOGICIEL

Rien n'a été réalisé pour l'instant, l'architecture reste donc la même que celle décrite plus haut.

## PLATEFORME

**Modélisation.** Dans l'idée, le but serait de réaliser différents modèles 3D de chaque parties "principales" de la plateforme tout en faisant en sorte que la création soit flexible, maintenable et améliorable avec le temps, pour ne pas rester bloqué dès les premières étapes de la réalisation sur une architecture précise.

SolidWorks est un logiciel de CAO remplissant ces critères, il sera donc celui utilisé pour modéliser la plateforme dans son entièreté, tout en tenant compte des différents composants à ajouter sur la base principale au fur et à mesure (caméra, cartes électroniques, etc)



La plaque tournante sera la première partie à réaliser, il faut donc choisir la carte électronique qui gèrera le/les moteurs qui seront eux aussi à déterminer. En accord avec les compétences développées pendant la formation, nous nous porterons sur une STM32F4 Discovery qui sera présentée plus bas.

La seconde partie sera le bras composé de glissière(s) ajustable(s) qui portera la caméra à son extrémité, ainsi que des lasers si le croisement de technologies est développé.

Il faut garder à l'esprit que nous devons scanner des objets de taille variables, allant d'un objet type figurine à un buste humain. Cela implique que la hauteur de l'objet à scanner peut varier, mais sa largeur est moins flexible.

La troisième partie (finalement en parallèle avec la seconde) aura pour but de déterminer où l'interaction homme-machine s'effectuera. Où placer l'écran qui permet à l'utilisateur de communiquer avec le scanner ?

Enfin, la problématique sera de faire un choix de matériau et de process de réalisation : sous-traiter ? Imprimante 3D Industrielle ? Acier ?

Cela permettra de déterminer le prix en fonction du poids maximum que l'on peut mettre sur la plateforme et ainsi conclure sur les possibilités du scanner 3D.

Tout cela devra bien sûr passer par des calculs bien précis à réaliser pour connaître les dimensions minimum et maximum à avoir, afin d'établir des plans 2D du modèle et enfin porter le tout sur logiciel de CAO.

**STM32F4.** Cette carte de développement est « propulsée » par un cortex M4 modèle [STM32F407VGT6](#), 1 MB de ram et 192 KB de flash.

Elle est équipée en série d'un ST-Link /V2 permettant la programmation directe depuis un port USB, ce ST-Link pouvant également programmer tout autre microcontrôleur de la même famille.

Afin de découvrir les possibilités de calcul flottant grâce au FPU intégré, cette carte intègre également un accéléromètre [LIS302DL](#), d'un microphone

omnidirectionnel numérique [MP45DT02](#) et d'un convertisseur DAC avec un ampli de classe D intégré [CS43L22](#).

Pour le contrôle du moteur "plaque tournante", on utilisera la PWM (Pulse Width Modulation) de la carte. Pour que le servomoteur fonctionne, on doit délivrer en sortie une fréquence  $f$  et changer sa largeur, ce qui résulte en une rotation du servo-moteur.

On utilisera CubeMX pour générer les fichiers de configuration (définition du prescaler, fréquence de clock etc), et Keil pour écrire le code principal contenant les calculs déterminant l'angle de rotation pour un step, par exemple.



## TÂCHES RESTANTES

### API 3D

- Communication avec la caméra
- Configuration de la caméra
- Conversion du fichier 3D

### PLATEFORME

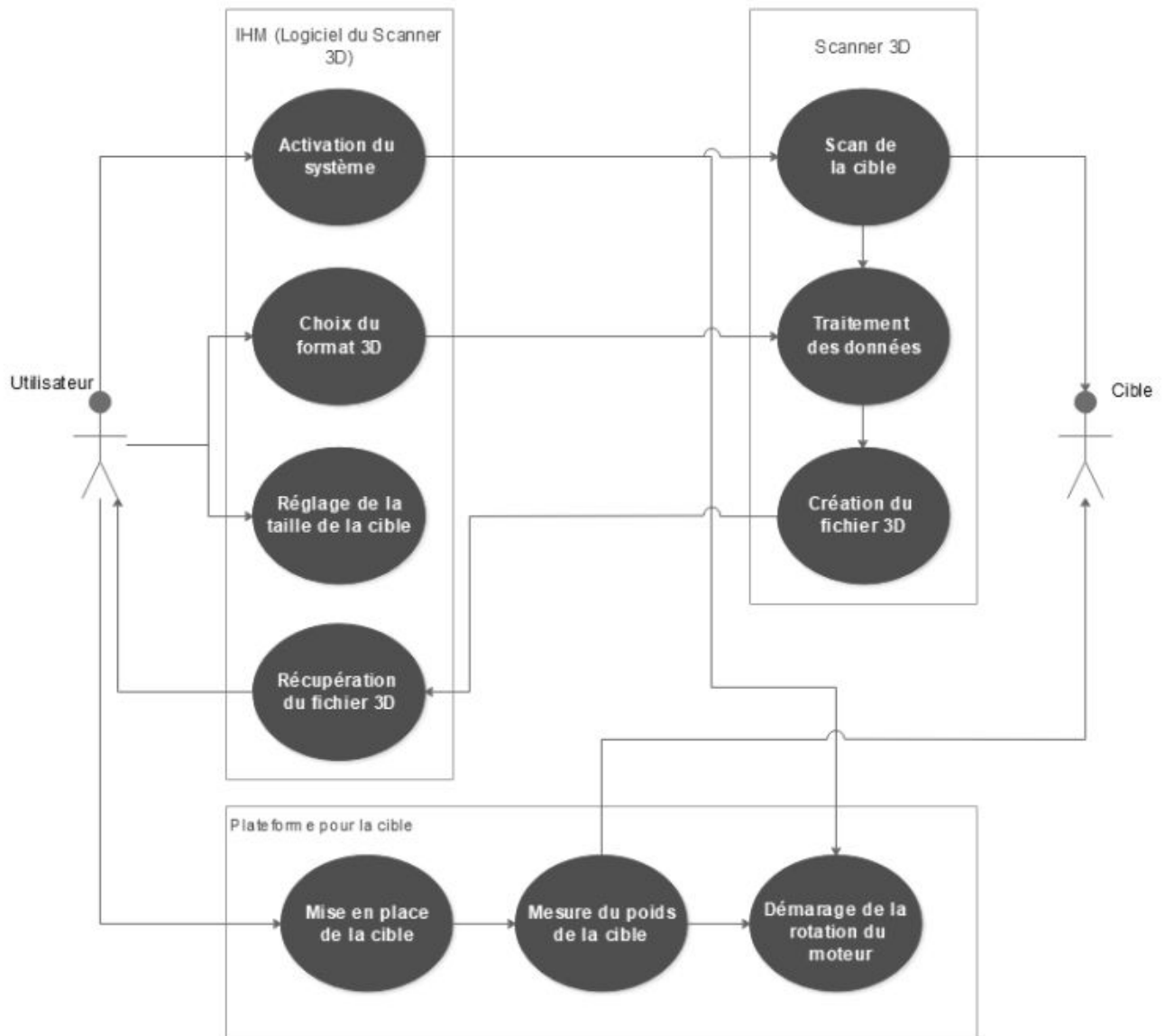
- Réalisation du schéma 2D
- Réalisation des différentes parties en 3D
- Assemblage
- Choix des moteurs
- Programmation des moteurs sur STM32

### CARTE $\mu$ C PRINCIPALE

- Choix de la carte
- IHM
- Communication avec le reste du scanner

## ANNEXE

### DIAGRAMME DE CAS D'UTILISATION



## SOURCES

Explication des différentes technologies : [Lien](#)

Site englobant plusieurs scanner 3D : [Lien](#)

Github de l'Intel RealSense : [Lien](#)

Livre sur l'imagerie 3D et le mappage de profondeur : Algorithme et technologies : [Lien](#)

Article sur les Scanner 3D à Laser : [Lien](#)

Etat de l'Art Scanner Laser [JUHA HYYPPA] : [Lien](#)

Systèmes de Numérisation 3D : [Lien](#)

Le scanner laser 3D : reconnaissance de formes [...] - Matthieu Dujardin : [Lien](#)

Média sur les imprimantes et scanner 3D : [Lien](#)