

# RAPPORT PROJET

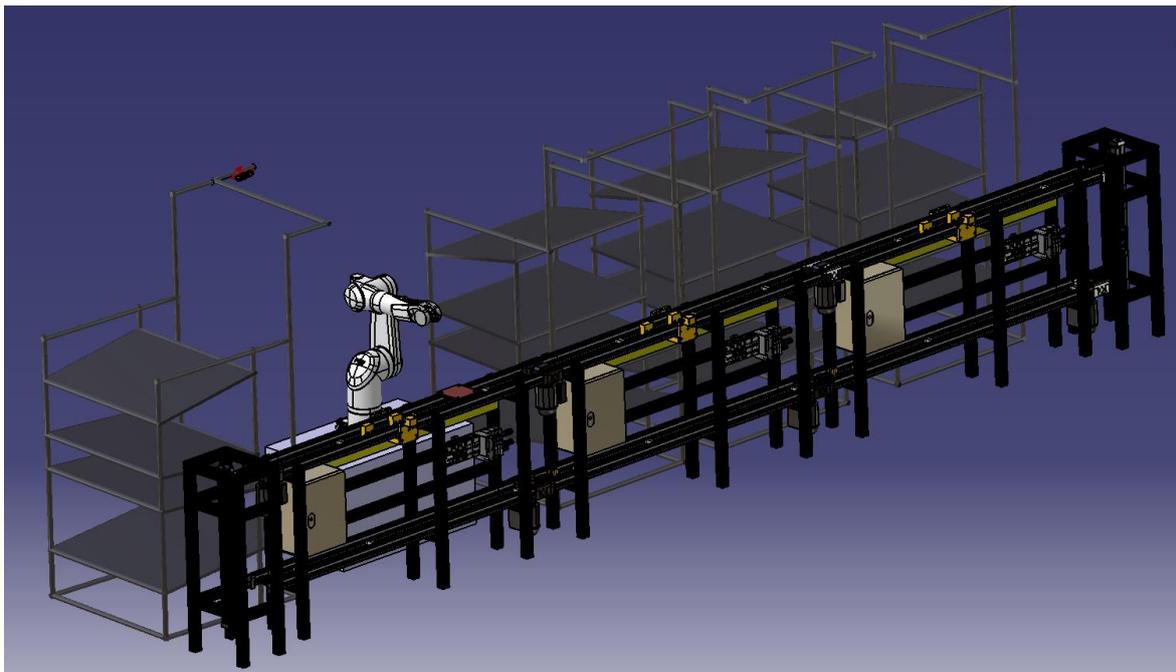
## T053 – TW53

*Vision – based analysis and prediction of worker's gestures in assembly line*

AUTOMNE 2020

---

Hanane Boukour  
Axel Heren  
Mohammed Bardag



# SOMMAIRE

---

I. INTRODUCTION	3
II. OBJECTIFS DU PROJET	4
III. GESTION DE PROJET	5
a) Plan d'action	5
b) L'équipe projet	6
c) Analyse des risques	7
IV. CHOIX DE LA CAMERA	8
a) Stereolabs Zed 2	8
b) Intel Realsense D455	11
c) Microsoft Azure Kinect	13
d) Choix final de la caméra	14
e) Sécurité et protection des données	14
V. CHOIX DU POSTE	15
VI. REALISATION DES ESSAIS	20
VII. IMPRESSION 3D DU SUPPORT	22
VIII. MAQUETTE CAO DE LA LIGNE	24
IX. SKELETON TRACKING	25
X. CONCLUSION	1
XI. RECOMMANDATIONS	1
XII. TABLE DES ILLUSTRATIONS	1
XIII. ANNEXES	1

# I. INTRODUCTION

Dans le cadre des UV TW53 et TO53, nous avons été amenés à travailler sur un projet d'analyse basée sur la vision et la prédiction des gestes des opérateurs sur une ligne d'assemblage existante.

Notre mission a été alors d'étudier la faisabilité et l'intégration complète d'une ou plusieurs caméras sur la ligne de production des steppers ou vérins au sein de l'usine pilote située à l'UTBM.

A travers ce rapport nous allons donc développer la démarche que nous avons suivie depuis le début du projet jusqu'à obtenir le livrable final. Nous mentionnerons les difficultés auxquelles nous avons pu faire face et, nous justifierons nos choix de solutions en prenant soin d'analyser les avantages et les inconvénients de celles-ci.

## Analyse fonctionnelle du besoin :

### Bête à cornes :

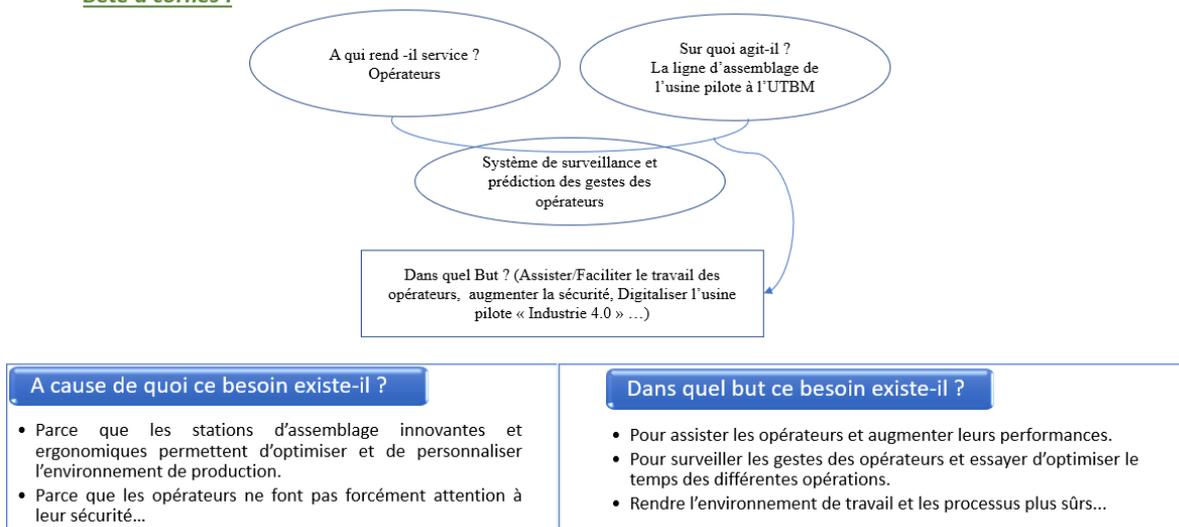


Figure 1 : Bête à cornes

### Diagramme pieuvre :

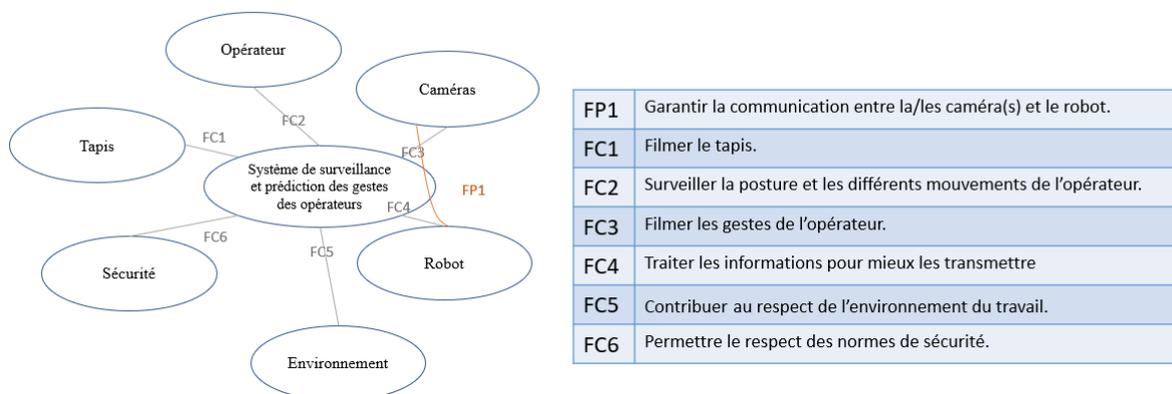


Figure 2 : Diagramme pieuvre

## II. OBJECTIFS DU PROJET

---

Le projet d'analyse basée sur la vision et la prédiction des gestes des opérateurs sur une ligne d'assemblage (*Vision-based analysis and prediction of workers' gestures in assembly line*) s'inscrit le cadre des sujets proposés aux étudiants de l'unité de valeur TW53. L'objectif principal étant d'étudier la faisabilité et l'intégration complète d'une caméra sur une ligne de production.

Ainsi, pendant 18 semaines consécutives, sous la supervision de M. Yan qui est également notre interlocuteur direct pendant le semestre, des expérimentations et des recherches auront lieu de manière hebdomadaire. Il s'agit de plusieurs séances pratiques en usine pilote.

Pour traiter au mieux ce sujet et balayer un maximum d'informations essentielles tout en consacrant des séances entières aux applications pratiques, nous avons alors décliné notre projet autour de 3 principales phases :

1. Comprendre l'environnement industriel et les types de caméras possibles.
2. Réaliser des essais, installer les dispositifs liés à la vidéo.
3. Analyser les résultats obtenus et en préciser les perspectives futures.

Le projet repose sur sa finalité, en effet, au-delà de cette étude complète de faisabilité, il faut y appréhender ses enjeux. Les objectifs de ce projet devraient permettre de détecter les gestes de l'opérateur et prédire les actions pour aider au maximum l'opérateur via l'utilisation d'un robot collaboratif.



Figure 3 : Ligne d'assemblage au sein de l'usine pilote

# III. GESTION DE PROJET

## a) Plan d'action

Pour bien gérer les différentes phases du projet nous avons réalisé en premier lieu un plan d'action comme présenté ci-dessous ;

### Plan d'action :

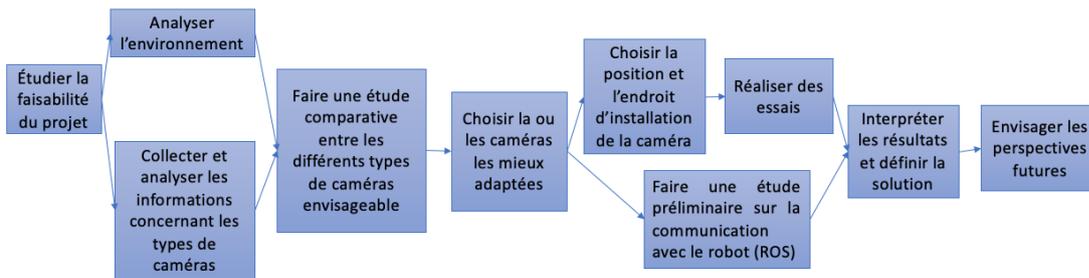


Figure 4 : Plan d'action

Nous avons ensuite passé à la phase de planification du projet, pour cela nous avons réalisé un diagramme de Gantt.

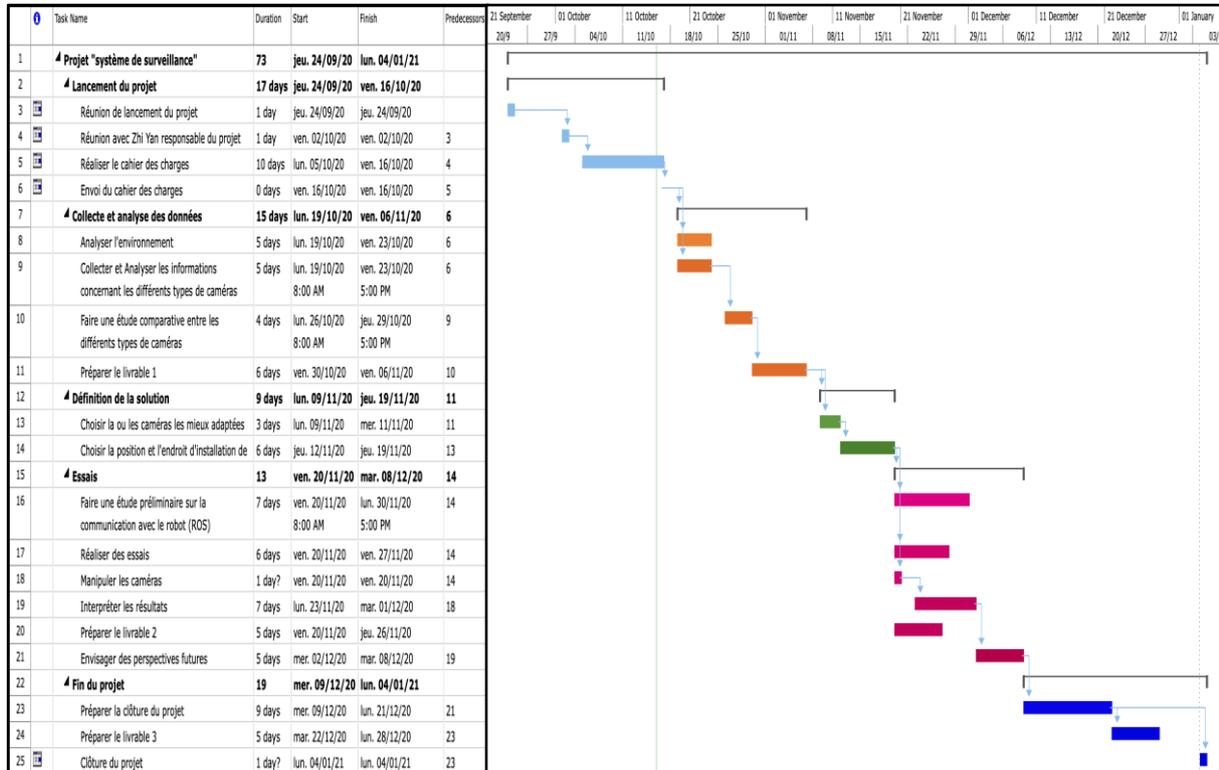


Figure 5 : Diagramme de Gantt

Le diagramme de Gantt est un outil qui représente visuellement l'état d'avancement des différentes activités (tâches) qui constituent un projet. La colonne de gauche du diagramme énumère toutes les tâches (générales) à effectuer, tandis que la ligne d'en-tête représente les unités de temps les plus adaptées au projet, dans notre cas en semaines.

**b) L'équipe projet**

L'ÉQUIPE PROJET :

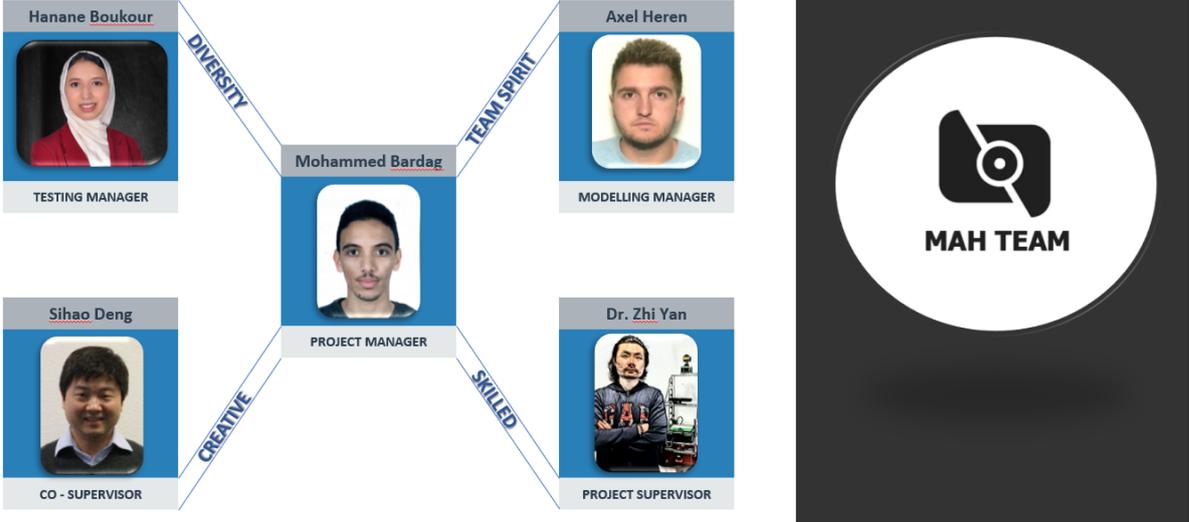


Figure 6 : L'équipe projet

Pour la répartition des taches, nous avons utilisé Freedcamp :

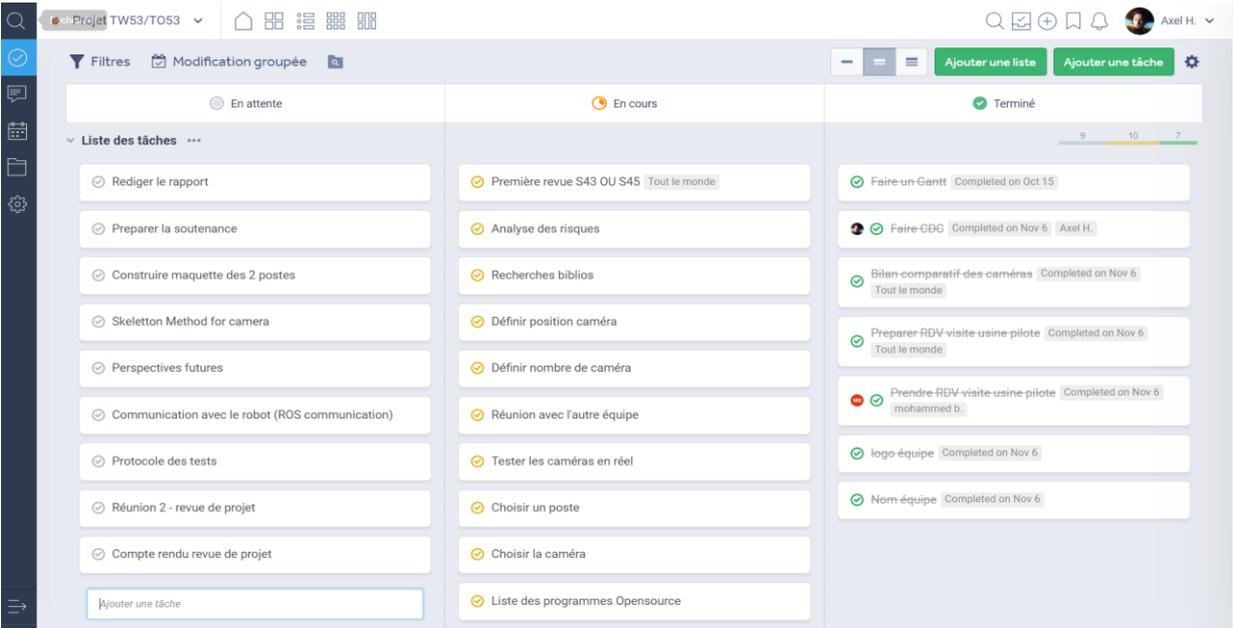


Figure 7 : Freedcamp du projet

## c) Analyse des risques

**Registre des risques projets** le 08? Oct 2020

Projet : VISION BASED ANALYSIS

Causes	Description du risque	Conséquences pour le projet			Actions, dispositions en vue d'Atténuation/suppression du risque		
		Impact	Probabilité	Impact	Probabilité	Impact	Responsable
3 Un reconfinement national et interdiction de déplacement à l'UTBM	Une deuxième vague épidémique extrêmement forte qui impose de respecter strictement le confinement mis en place et ne pas se déplacer à l'UTBM	1	9	9	Décaler certaines tâches, obtenir certaines informations auprès des autres équipes ; tous les réunions avec les encadrants se feront à distance	1	1
4 Contamination d'un membre de l'équipe	Un ou plusieurs membres de l'équipe tombent malades, et peuvent être indisponibles selon la sévérité de la maladie.				Déléguer le travail ; répartir les tâches entre les membres disponibles et continuer le travail.	3	9
5 Manque de matériel	Impossibilité de réaliser les livrables en respectant le temps à cause de manque de matériel ; caméra,...	9	9	8	Déléguer le travail ; organiser un remplacement rapide du matériel qui est disponible.	9	3
6 Manque de communication au sein de l'équipe	Il y a peu ou pas de communication au sein de l'équipe ; personne ne sait qui doit réaliser quelle tâche.	9	3	27	Mettre en place au moins une réunion hebdomadaire ; Clairement définir la répartition des tâches ; Rapidement identifier et résoudre les conflits.	1	1
8 Perte d'intérêt pour le projet	L'équipe perd sa motivation et se désintéresse du projet.	9	1	9	Organiser des réunions en face-à-face, soit pour éclaircir certains points ou pour remotiver un membre de l'équipe.	1	1
9 Perte des ressources	Les livrables ou les données utiles à leur réalisation sont perdus (effacés par erreur...).	9	1	9	Mettre toutes les ressources sur une plateforme en ligne, accessible à tout moment par tous les membres.	3	1
10 Non respect des délais	Les délais imposés sont trop courts, ou l'équipe n'a pas su correctement gérer son temps.	9	3	27	Lister les tâches à réaliser et les planifier ; imposer des jalons intermédiaires.	3	3

Figure 8 : Analyse des risques

## IV. CHOIX DE LA CAMERA

---

Les robots collaboratifs sont de plus en plus présents dans nos vies quotidiennes. En milieu industriel, ils sont une solution privilégiée pour rendre les chaînes de montage plus flexibles, rentables et diminuer la pénibilité du travail des opérateurs.

Pour permettre une collaboration fluide et efficace, les robots doivent être capables de comprendre leur environnement, en particulier les actions humaines.

Dans cette optique, nous avons décidé d'étudier les caractéristiques de différents types de caméras afin que le robot puisse se synchroniser avec l'opérateur, adapter son allure et comprendre si quelque chose d'inattendu survient.

Pour cela, nous avons considéré 3 types de caméras ; Stereolabs Zed 2, Intel Realsense D455 et Microsoft Azure Kinect.

### a) Stereolabs Zed 2



*Figure 9 : Stereolabs Zed 2*

- Composé d'une caméra 3D, d'un boîtier informatique et d'une enceinte Wi Fi ;
- Dimensions du boîtier (l x L x H) 15 x 10 x 5 cm ;
- Combine l'IA pour détecter les personnes et la vision 3D pour les localiser précisément ;
- La caméra stéréoscopique utilise deux capteurs RGB de haute résolution pour détecter véhicules et objets ;
- Propose une détection améliorée de la profondeur jusqu'à 20 m avec un champ de vision de 120 degrés et une portée de 40 mètres ;
- Les données sont analysées par le boîtier auquel la caméra est raccordée en USB3 ;
- La caméra peut être pilotée à distance grâce au cloud dédié permettant de contrôler le streaming, collecter et analyser des données 3D ou encore déployer des applications
- Traitées en local, « les données respectent l'anonymat » ;
- Prix : 339 euros ;

## **Spécifications de la caméra :**

### **A: Profondeur :**

- Résolution : vidéo native (en mode ultra)
- FPS : jusqu'à 100 Hz
- Plage de profondeur : 20 cm à 20 m
- Champ de vision : 110° à l'horizontale, 70° à la verticale, 120° à la diagonale max.
- Technologie : Neural Stereo Depth Sensing

### **B : Mouvement :**

- Capteurs de mouvement : accéléromètre, gyroscope (débit de données : 400 Hz)
- Taux de rafraîchissement de la pose : jusqu'à 100 Hz
- Capteurs de position : baromètre, magnétomètre (débit de données : 25/50 Hz)
- Technologie : cartographie et localisation simultanées (SLAM) stéréo, visuelles et inertielles, avec 6 degrés de liberté, fusion des capteurs et compensation thermique
- Dérive de la pose : 0,35 % de translation, 0,005°/m de rotation (sans correction de boucle)

### **C : Lentilles :**

- Type de lentilles : doubles lentilles grand angle en verre 8 éléments avec distorsion corrigée optiquement
- Ouverture : f/1.8

### **D : Détection d'objets :**

- Types d'objets : personnes, véhicules
- Traçage d'objets
- Sorties de détection : boîte d'encombrement 2D/3D ; localisation ; vitesse ; ID unique ; masques de segmentation
- Plage de détection : jusqu'à 20 m (3D) ; jusqu'à 40 m (2D)
- Traçage de squelettes : 18 points-clés corporels ; boîte d'encombrement de la tête ; jusqu'à 10 m de portée
- Capteurs : accéléromètre, gyroscope, baromètre, magnétomètre, température

### **E : Connectivité :**

- Connecteur USB 3.0 avec câble d'1m20 intégré
- Options de montage : 1 trou de montage fileté ¼" 20 UNC ; 2 trous de montage filetés M3
- Alimentation : via USB 5 V / 380 mA
- Température de fonctionnement : -10°C à 50°C

### **F: Sortie vidéo :**

Video Mode	Frames per second	Output Resolution (side by side)
2.2K	15	4416x1242
1080p	30	3840x1080
720p	60	2560x720
WVGA	100	1344x376

*Figure 10 : Sortie vidéo résumé*

### **G : Dans la boîte :**

- Caméra stéréoscopique ZED 2
- 1 mini trépied
- Documentation
- Systèmes d'exploitation compatibles : Windows, Ubuntu, Debian, CentOS, Jetson L4T
- Garantie : 10 ans sur l'équipement
- Dimensions : 175 x 30 x 33 mm
- Poids : 124 g
- Boîtier en aluminium

Sources :

<https://www.generationrobots.com/media/zed2-camera-datasheet.pdf>

<https://www.stereolabs.com/docs/installation/>

<https://www.stereolabs.com/docs/tutorials/>

<https://www.stereolabs.com/docs/code-samples/>

<https://www.stereolabs.com/docs/ros/>

<https://github.com/stereolabs/zed-ros-wrapper>

## b) Intel Realsense D455



Figure 11 : Intel Realsense D455

- La caméra Intel RealSense Depth D455 ressemble à première vue à un Microsoft Kinect, et l'un de ses talents est le suivi des mouvements. Cependant, plutôt que dans les jeux, Intel s'attend à ce qu'il soit utilisé dans la robotique, la santé et d'autres environnements ;
- Une IMU a été ajoutée, ce qui peut aider à affiner la prise de conscience de la profondeur dans les situations où la caméra se déplace. Cela pourrait être utile en robotique, où le D455 pourrait être utilisé pour permettre l'évitement d'obstacles ou pour interagir avec des objets en mouvement ;
- Les capteurs de profondeur eux-mêmes sont maintenant espacés de 3,74 pouces, ce qui contribue à la précision sur toute la plage étendue. Ils sont également montés sur le même raidisseur que le capteur RVB, ce qui, selon Intel, aide à l'alignement des couleurs et de la profondeur. Ce capteur RVB a également maintenant le même champ de vision que les capteurs de profondeur ;
- Prix : 239 euros ;

### Spécifications de la caméra :

#### A : Caractéristiques :

- Manufacturer : Intel
- Carte processeur de vision : Processeur Intel RealSense Vision D4
- Type: Housed Camera
- Depth Technology: Active IR Stereo
- Modèle : D455
- Système d'exploitation : Linux, Ubuntu \* 16,04, Windows® 10

**B : Profondeur :**

- Technologie de profondeur : Stéréo IR actif ;
- Distance de profondeur minimale (Min-Z) : 0,4 mètre ;
- Portée maximale : 20 mètres ;
- Champ de vision en profondeur (FOV) :  $86^{\circ} \times 57^{\circ} (\pm 3^{\circ})$  ;
- Résolution de sortie de profondeur :  $1280 \times 720$  ;
- Résolution horizontale : 1280
- Résolution vertical : 720
- Fréquence d'images en profondeur : Jusqu'à 90 fps;

**C : Boitier :**

- Facteur de forme : Périphérique de la caméra ;
- Longueur  $\times$  profondeur  $\times$  hauteur : 124 mm  $\times$  26 mm  $\times$  29 mm ;
- Connecteurs : USB - C 3.1 de 1re génération ;
- Mécanisme de montage :
  - Un point de fixation fileté 1 / 4-20 UNC.
  - Deux points de fixation filetés M4.
  - Trépied.

**Sources :**

<https://www.slashgear.com/intel-realsense-d455-doubles-depth-camera-accuracy-16625015/>

<https://www.intelrealsense.com/depth-camera-d455/>

### c) Microsoft Azure Kinect



Figure 12 : Microsoft Azure Kinect

- Cet appareil combine les technologies du Cloud Azure, les capteurs d'IA de Microsoft, et la détection de mouvements du Kinect dans un seul appareil ;
- Le Kit se dote d'un capteur de champ de profondeur développé pour l'HoloLens 2 de champ de 1 million de pixels, la caméra RGB haute définition de 12 millions de pixels et un réseau circulaire de 7 microphones permettra de développer des solutions avancées de computer vision et de reconnaissance vocale avec Azure et d'un connecteur pour synchroniser plusieurs Azure Kinect DK ;
- Le système regroupe également des capteurs d'inertie pour le tracking spatial et le tracking d'orientation. Il pourra fonctionner avec différents types d'appareil électroniques, et il sera possible de synchroniser plusieurs Kinect Azure pour la collecte de données à grande échelle ;
- L'appareil se connecte au cloud. En effet, il se synchronise avec les algorithmes de computer vision présents au sein d'Azure Cognitive Services ;
- Les développeurs et les industriels peuvent s'essayer à la vision par ordinateur. Ils peuvent également cartographier en trois dimensions leur espace de travail. Cela permet de mettre en place des scénarios de réalité augmentée ou bien de jumeau numérique en combinant cette technologie avec d'autres capteurs connectés ;
- Prix : 399 \$ ;

#### **Contenu d'Azure Kinect :**

- Capteur de profondeur de 1Mp avec options de FOV (champ de vision) large où restreint ;
- Caméra de 12 Mp RGB (CMOS OV12A10 12MP) pour un flux de couleurs aligné sur le flux de profondeur ;
- Une taille 2x plus petite que Kinect for Windows v2 ;
- 7 microphones pour permettre la capture de la parole et du son en champ élargi à 360° ;
- Inertial Measurement Unit : Accéléromètre et gyroscope ;

- Possibilité de synchroniser le flux de plusieurs Kinect en même temps ;
- Mesure 10,3cm x 3,9cm x 12,6 cm ;
- Poids de 440 g ;
- Température : 10 à 25 °C ;
- Humidité : 8 à 90 % d'humidité relative (sans condensation).

Sources :

<https://azure.microsoft.com/fr-fr/services/kinect-dk/>

<https://docs.microsoft.com/fr-fr/azure/kinect-dk/hardware-specification>

#### **d) Choix final de la caméra**

Initialement, nous avons envisagé de choisir la stereolabs Zed 2 pour ses caractéristiques techniques relativement meilleures et aussi certainement car nous avons été conquis par un marketing mieux maîtrisé.

Cependant au moment de passer aux essais, il y a eu une grande différence entre la théorie et la pratique. D'un point de vue softwares, l'expérience utilisateur est bien meilleure et facilitée en passant par Intel. Stereolabs proposent 4 softwares et une mise à jour du firmware manuelle quand Intel fournit un software tout en un et une mise à jour automatique du firmware depuis ce même software.

Pour les captures d'images réalisées, la calibration et la qualité finale, la caméra Intel était bien meilleure et gère mieux les fluctuations de lumière et le post-processing.

Enfin, n'ayant pas beaucoup de temps devant nous pour faire fonctionner le Skelton tracking and détection, nous avons réalisé un seul support pour la intel realsense D455

#### **e) Sécurité et protection des données**

Après l'utilisation de la vision artificielle dans le milieu industriel, la question d'éthique est posée. En effet, l'utilisation de cette solution contient des risques en matière de respect de la vie privée et des données personnelles des opérateurs.

Une caméra de type Intel Realsense D455 avec une grande vitesse de post processing, une grande profondeur de champ et plusieurs fonctionnalités liées au capteur de profondeur permet au système de ne pas identifier l'identité de l'opérateur ni ces données personnelles.

Nous pouvons nous appuyer sur les capteurs infrarouges et non sur les caméras RGB.. Le cœur du système, le processeur de vision Intel RealSense, utilise des algorithmes avancés pour traiter les flux d'images brutes des caméras de profondeur, sans avoir besoin d'identifier l'image de la personne. Plus, une variété de modules de profondeur et de boîtiers de caméras facilite l'intégration dans les systèmes de vision et permet un choix multiple, adapté à la vision industrielle.

# V. CHOIX DU POSTE

---

On avait le choix entre 2 postes pour l'installation de la caméra ; le poste 4 « poste d'assemblage finale du Stepper » sur la première ligne de production et le poste 1 « poste de montage des vérins » sur la deuxième ligne de production.

Notre choix s'est porté sur le poste 4 ; le poste d'assemblage du Stepper pour l'installation de notre caméra. Pour plusieurs raisons :

- 1- Le temps d'assemblage sur ce poste est assez important ;
- 2- Le nombre de tâches sur ce poste est important aussi, et demande une certaine chronologie ;
- 3- L'automatisation de ce poste est plus intéressante (liaison avec le projet n°6), car elle va permettre de réduire le temps d'assemblage, de gagner en efficacité... et comme c'est le poste d'assemblage final, Il n'y aura pas vraiment un temps d'attente pour les autres postes de la ligne d'assemblage. Cependant une automatisation du poste n°1 de la ligne de montage des vérins peut avoir des effets négatifs sur les postes en aval, car si la performance du premier poste est trop élevée les postes en aval peuvent être confrontés à un blocage par saturation ;
- 4- L'installation d'une caméra sur ce poste va permettre de maîtriser les tâches répétitives et pouvoir assister l'opérateur grâce à l'installation du robot par la suite ;
- 5- L'augmentation de la sécurité au travail.



Figure 13 : Poste 4 sur la ligne 1



*Figure 14 : Poste 1 sur la ligne 2*

Sur les photographies, nous nous rendons compte de plusieurs axes d'amélioration :

- Montages manuels
- Pas d'affichage au poste
- Absence d'assistance des opérateurs
- Difficulté d'accès à certaines pièces/outil

Cette organisation des postes peu optimisée ne facilitait pas la tâche aux opérateurs.

C'est pour ça que l'installation de caméras et la robotisation du poste (en collaboration avec l'autre groupe) permettront d'assister les opérateurs et leur faciliter le travail !

## La Fiche de poste

Intitulé du Poste	Poste de montage de Stepper Optim'alp
-------------------	---------------------------------------

### Informations générales

Statut, catégorie, grade, numéro du poste	Poste 4
---	---------

### Informations sur le service d'affectation

Mission principale du service	Assemblage final du Stepper
Effectif du service	1
Position du poste dans le service	<i>1 opérateur</i>

### Missions du poste

Mission principale du poste	<i>Ce poste sert à faire l'assemblage final du Stepper en complétant ce qui a été fait aux postes précédents.</i>
Activités et taches du poste	<ul style="list-style-type: none"> <li>Briquer palette</li> <li>Mettre en place la poulie 6 dans le logement du châssis</li> <li>Basculer pédales en guidant le câble dans la gorge de la poulie</li> <li>Insérer la vis 19 tête côté extérieur sur châssis</li> <li>Placer la rondelle 18 et l'écrou freiné 17</li> <li>Insérer la vis 19 tête côté extérieur sur châssis</li> <li>Placer la rondelle 18 et l'écrou freiné 17</li> <li>Serrer les boulons gauche</li> <li>Serrer les boulons droit</li> <li>1/4 tour gauche</li> <li>Basculement du stepper sur palette</li> <li>Visser la vis de réglage 10 jusqu'au point dur</li> <li>Insérer le compteur 11 dans son logement (bouton bleu orienté côté opérateur)</li> <li>Débriquer palette</li> <li>Transférer le stepper sur le chariot de manutention</li> </ul>
Conditions de travail	<p style="text-align: center;"><i>Temps de travail hebdomadaire : 45 h / 64 s par montage</i></p> <p style="text-align: center;"><i>Horaires : de 8h à 12h et de 14h à 18h</i></p> <p style="text-align: center;"><i>Lieu de travail : Usine pilote</i></p> <p style="text-align: center;"><i>Moyens matériels mis à disposition : une visseuse embout héxa 13 et une clé à œil de 13</i></p>

### Compétences requises pour le poste

Les savoir-faire	<i>Savoir comment utiliser les outils de montage, comment visser et dévisser ...</i>
Les savoir-être	<i>Bon comportement vis-à-vis des employés, respecter les consignes ...</i>

*Figure 15 : Fiche du poste 4*

Gamme de fabrication		Poste n° : 4
Instruction mouvement	Instruction montage	Sens d'introduction des pièces 
Instruction	Schemas	
<p><b>Etape 1 :</b></p> <p><b>Vous-réceptionnez le stepper comme ceci</b></p> <p>Mettre la poulie dans le sens indiquer par la flèche jaune</p> 	 	
<p><b>Etape 2 :</b></p> <p><b>Faire basculer le stepper comme indiquer par la flèche bleu</b></p> <p>Puis remonter les pédales en faisant bien attention à ce que le câble aille dans la gorge de la poulie.</p>	   	
<p><b>Faire pivoter le stepper comme indiquer par la flèche bleu</b></p> <p>Avancer le bout du vérin jusqu'au U.</p> <p>Puis mettre la vis comme le sens de la flèche jaune, mettre une rondelle et un écrou.</p> <p>Faire pour le vérin droit et vérin gauche.</p>	 	

Figure 16 : Gamme de fabrication - Ligne Stepper – Partie 1

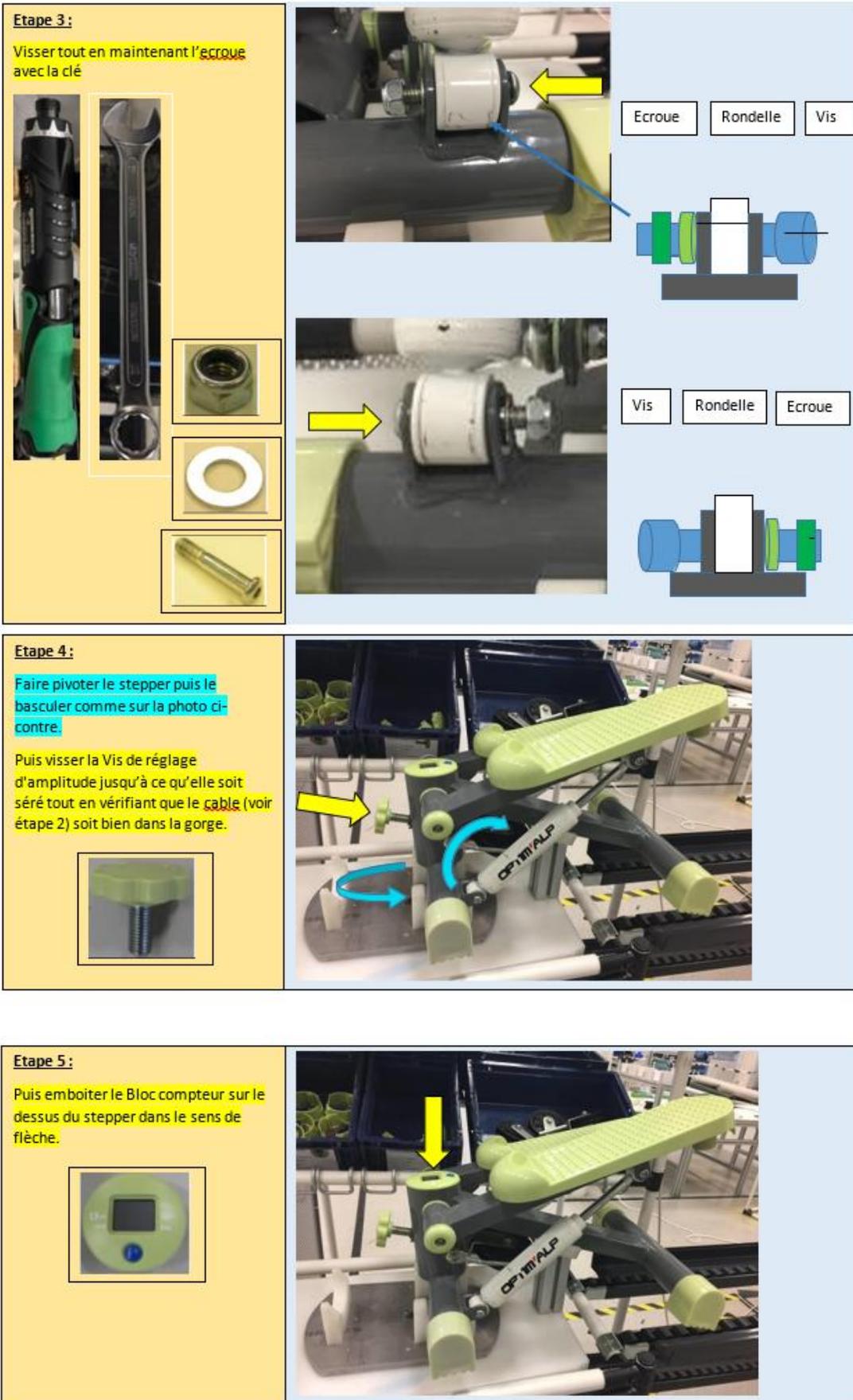


Figure 17 : Gamme de fabrication - Ligne Stepper – Partie 2

# VI. REALISATION DES ESSAIS

Pour valider le choix de notre caméra et pour un but expérimental nous avons réalisé des essais avec les deux caméras *Intel Realsense D455* et *Streolabs ZED 2*.

Nous avons fait des essais en prenant en compte plusieurs facteurs pouvant influencer la performance des caméras (présence/absence de lumière, avec et sans opérateurs, rapidité des mouvements de l'opérateur...)

Les premiers essais ont eu lieu avec un support universel, le support 3D était encore en cours d'élaboration.



Figure 18 : Caméra intel realsense D455 avec support universel

## Réalisation des essais vidéos

Essais avec lumière et sans opérateur



Essais sans lumière et sans opérateur



Figure 19 : essais avec la intel realsense D455

### Essais avec lumière et sans opérateur



### Essais sans lumière et sans opérateur



Figure 20: essais avec la Stereolabs ZED 2

#### Interprétation des résultats :

##### Avec lumière :

La caméra Intel realsense D455 a une image plus nette que la ZED 2, On constate également que les images de la ZED 2 sont un peu floutées, surtout au niveau des extrémités.

##### Sans lumière :

La caméra Intel realsense D455 dépasse largement la ZED 2, On constate que les images /vidéos de la Intel realsense D455 restent nettes, on peut facilement différencier les objets et les mouvements. Alors que sur la ZED2, les images sont très sombres et pas très visibles !

**Remarque :** dans nos revues de projet, vous trouverez les vidéos attestant des observations mentionnées dans ce rapport.

Sources :

[https://dev.intelrealsense.com/docs/installing-intel-realsense-sdk-20-for-windows?\\_ga=2.152209657.1141179652.1610700673-1816601612.1605793008](https://dev.intelrealsense.com/docs/installing-intel-realsense-sdk-20-for-windows?_ga=2.152209657.1141179652.1610700673-1816601612.1605793008)

# VII. IMPRESSION 3D DU SUPPORT

Notre choix étant porté sur la intel realsense D455, nous avons alors créé un support en CAO pour ensuite, l'imprimer en 3D.

Pour faire cela, nous nous sommes appuyés sur la documentation technique fournit par le constructeur et utilisé fusion 360 pour le design et pour l'impression nous sommes passés par le slicer Cura et une des imprimantes 3D Creality des salles robotiques.

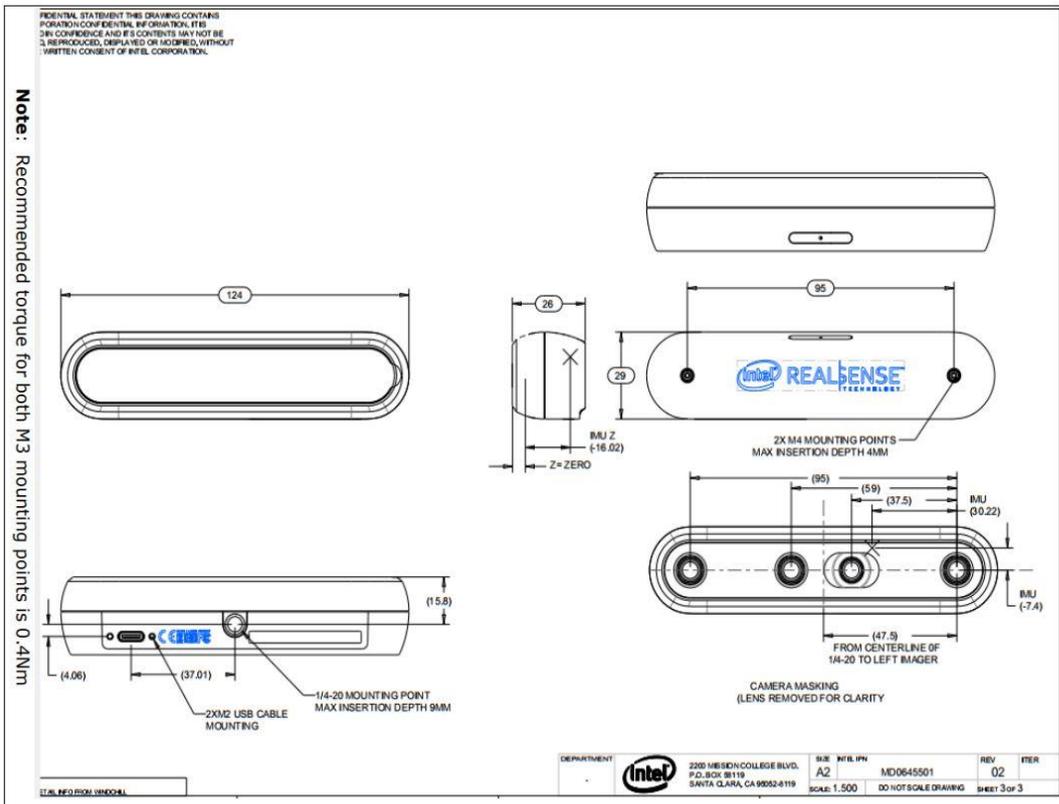
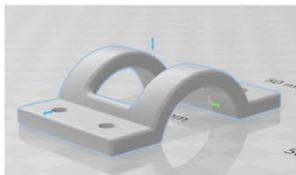


Figure 21 : Mechanical Drawing of Intel Realsense D455

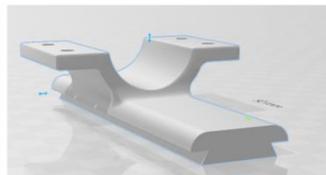
## Réalisation des supports pour modules Trilogiq

Premier support imprimé en 3D avec 20% de matière en PLA (Acide polylactique) qui est biodégradable.

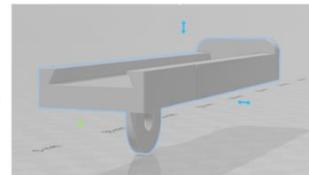
Durée d'impression d'environ 6h et 150g de plastique.



Part 1 – Upper bracket



Part 2 – Lower bracket



Part 3 – D455 adaptor

## Support pour la caméra Intel Realsense D455

Figure 22 : Support 1 - C.A.O

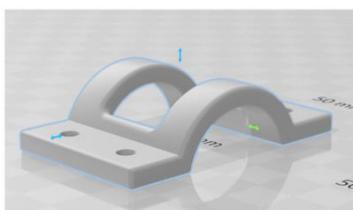
Nous avons premièrement pensé à un système de parties emboitables avec une mécanique d'assemblage en queue d'aronde. Cependant, une fois imprimé, le jeu d'emboîtement calculé et demandé n'a pas été respecté.

Ceci est lié à la précision de l'impression 3D qui comporte beaucoup de paramètres et ne permet d'avoir qu'une précision au dixième. Nous avons donc renoncé à ce système pour partir sur un support fusionné avec uniquement 2 parties.

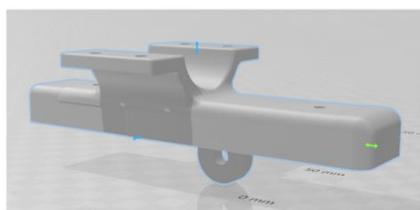
## Réalisation des supports pour modules Trilogiq

Deuxième support imprimé en 3D avec 30% de matière en PLA (Acide polylactique) qui est biodégradable.

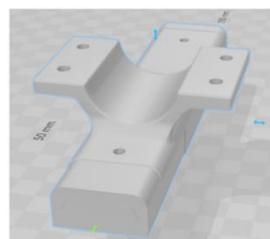
Durée d'impression d'environ 8h



Part 1 – Upper bracket



Part 2 – Lower bracket



Part 2 – Lower bracket

### Support pour la caméra Intel Realsense D455

Figure 23 : Support 2 - C.A.O

**Résultat final obtenu :**



Figure 24 : Support 2 imprimé en 3D et monté sur la ligne

# VIII. MAQUETTE CAO DE LA LIGNE

---

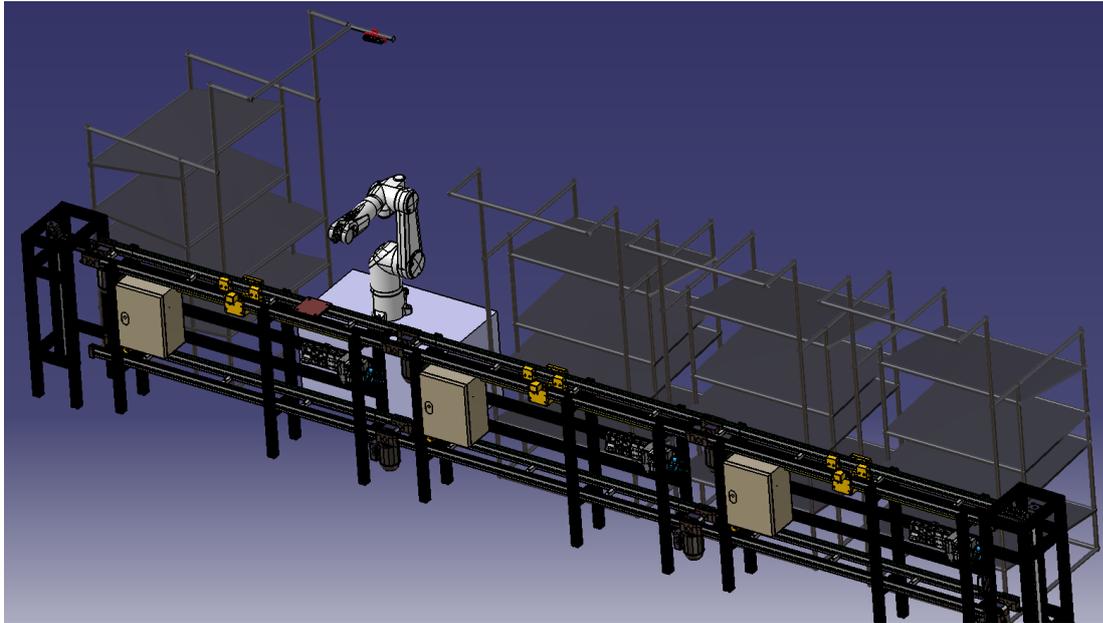


Figure 25 : Maquette ligne – Vue 1

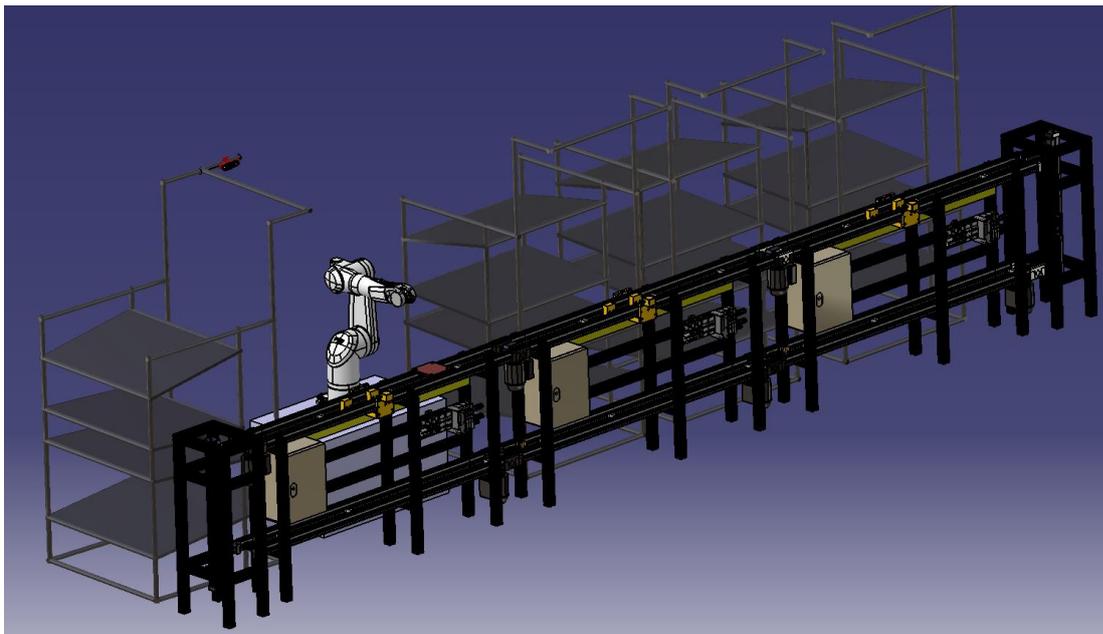


Figure 26 : Maquette ligne - Vue 2



Figure 27 : Maquette ligne – Vue 3

# IX. SKELETON TRACKING

---

Le SDK de suivi des squelettes est un logiciel pour les développeurs conçu pour fournir des capacités de suivi des squelettes 2D / 3D basées sur le deep learning spécialement fait pour les applications de matériel embarqué.

La caractéristique est que le suivi du squelette 3D / 2D peut être intégré en environ 3 minutes, ce qui peut être utile pour la détermination des actions.

Le SDK Skeleton Tracking by cubemos est une approche unificatrice pour servir des modèles de deep learning sur diverses plates-formes matérielles et sur différents frameworks disponibles dont notamment celui d'Intel Realsense technology.

Cette technologie se base sur 17 points du squelette humain dont leurs définitions sont précisées ci-dessous :

Point of tracking 1	Right ear
Point of tracking 2	Left ear
Point of tracking 3	Right eye
Point of tracking 4	Left eye
Point of tracking 5	Spine
Point of tracking 6	Left shoulder
Point of tracking 7	Right shoulder
Point of tracking 8	Left elbow
Point of tracking 9	Right elbow
Point of tracking 10	Left wrist
Point of tracking 11	Right wrist
Point of tracking 12	Left hip
Point of tracking 13	Right hip
Point of tracking 14	Left knee
Point of tracking 15	Right knee
Point of tracking 16	Left ankle
Point of tracking 17	Right ankle

Cette technologie peut être utilisée jusqu'à un maximum de 5 personnes avec une utilisation en temps réel, le post processing étant gourmand, il faudra un ordinateur avec une puissance de calcul suffisante. En théorie, il n'y a pas de limite mais le fournisseur ne recommande pas de dépasser les 5 personnes et ainsi éviter les confusions entre tous les squelettes.

Nous avons utilisé la version en C++ mais il existe la même chose en C, en C#, en python ou encore via Unity application development. Cela signifie que cette solution est cross-platform. Elle est également compatible pour les utilisateurs Linux.

L'intégration est relativement facile, il s'agit de notre première fois avec l'intelligence artificielle et nous avons réussi à l'utiliser et faire quelques essais.

```

1 // Read an RGB image of any size
2 cv::Mat image = cv::imread("/path/to/some/image.jpg");
3
4 CM_Image img( (void*)(image.data), CM_UINT8, image.cols, image.rows, image.channels(), (int)image.step[0], CM_HWC );
5
6 // Declare results container
7 CM_SKEL_Buffer skeletonKeypoints;
8
9 CM_SKEL_Handle* handle = nullptr;
10 CM_TargetComputeDevice enInferenceMode = CM_TargetComputeDevice::CM_CPU;
11
12 // Create cubemos API handle for Intel Inference Plugin and specify the valid cubemos license folder
13 cm_skel_create_handle(&handle, default_license_dir().c_str());
14
15 // Load the CPU model
16 std::string modelName = default_model_dir() + "/fp32/skeleton-tracking.cubemos";
17 cm_skel_load_model(handle, enInferenceMode, modelName.c_str());
18
19 // Send inference request and get the skeletons
20 cm_skel_estimate_keypoints(handle, &img, /* network height*/ 128, &skeletonKeypoints);

```

*Figure 28 : C++ code sample*



*Figure 29 : Illustration des skeleton points of tracking*



Figure 30 : Skeleton Detection - Vue 1



Figure 31 : Skeleton Detection - Vue 2

A noter également, que cette solution fonctionne mieux avec des processeurs Nvidia ou AMD. Il est possible de combiner le skeleton tracking et la détection d'objet sur le même principe.

Cependant, par manque de temps, nous n'avons pas pu expérimenter plus. Nous nous sommes attardés sur la faisabilité de la solution et non pas sur l'ensemble des possibilités. Les besoins et contraintes évoluent selon les projets.

Sources :

- <https://www.cubemos.com/skeleton-tracking-sdk>
- <https://www.intelrealsense.com/skeleton-tracking/>

# X. CONCLUSION

---

A travers ce projet nous avons été amenés à améliorer un poste d'assemblage à l'usine pilote, cette amélioration consistait à intégrer une ou plusieurs caméras afin d'automatiser le poste ce qui s'inscrit dans une démarche d'industrie 4.0 visant à garantir une communication continue et instantanée entre les différents outils et postes de travail.

L'objectif de cette démarche dans notre cas est de détecter les gestes de l'opérateur et prédire les actions pour l'aider au maximum via l'utilisation d'un robot collaboratif.

Le projet du premier abord peut paraître assez simple mais il nécessite une réflexion assez poussée et diverses compétences (gestion de projets, conception 3D, informatique et mécanique).

En effet en plus de devoir étudier la faisabilité et l'intégration complète d'une caméra sur une ligne de production. On a réalisé le support de la caméra en impression 3D, la partie Skeleton detection et les essais avec les logiciels.

D'un point de vue humain, ce projet fût l'occasion pour nous de vivre à nouveau l'expérience du travail en équipe. Nous avons chacun apporté nos compétences à ce projet et nous avons pu apprendre ensemble et nous soutenir quand parfois la motivation faiblissait un peu.

Nous tenons à remercier Monsieur Zhi Yan, enseignant chercheur, responsable et client de ce projet qui nous a soutenu et aidé tout au long de ce semestre.

Nous remercions Monsieur Sihao Deng, enseignant-chercheur à l'UTBM qui nous a aussi aidés à régler quelques problèmes techniques auxquels nous étions confrontés parfois.

Pour terminer, nous adressons nos remerciements à l'autre équipe projet avec qui les échanges et les heures de travaux ont été partagé tout au long de ce semestre.

# XI. RECOMMANDATIONS

---

Voici quelques recommandations que nous conseillons aux futurs enseignants qui porteront ce projet ainsi qu'au groupe qui reprendra notre travail.

Nous n'avons aucune formation informatique avant de commencer le projet, nos compétences n'étant pas égales, pensez à bien tout mettre à plat entre vous.

Nous recommandons aux futurs étudiants qui travailleront sur ce projet de se concentrer sur l'apprentissage et la transmission des connaissances acquises dans ce projet.

Il faut également garder en tête de mettre à jour à plusieurs reprises si besoin les objectifs du projet, en accord avec le client et les suiveurs UTBM.

Pour conclure, la curiosité est une qualité très importante dans ce genre de projet. C'est cette dernière qui permet de repousser les limites du projet de jour en jour, de jalon en jalon.

## XII. TABLE DES ILLUSTRATIONS

---

Figure 1 : Bête à cornes.....	3
Figure 2 : Diagramme pieuvre .....	3
Figure 3 : Ligne d'assemblage au sein de l'usine pilote .....	4
Figure 4 : Plan d'action.....	5
Figure 5 : Diagramme de Gantt.....	5
Figure 6 : L'équipe projet .....	6
Figure 7 : Freedcamp du projet .....	6
Figure 8 : Analyse des risques .....	7
Figure 9 : Stereolabs Zed 2 .....	8
Figure 10 : Sortie vidéo résumé .....	10
Figure 11 : Intel Realsense D455 .....	11
Figure 12 : Microsoft Azure Kinect .....	13
Figure 13 : Poste 4 sur la ligne 1 .....	15
Figure 14 : Poste 1 sur la ligne 2.....	16
Figure 15 : Fiche du poste 4.....	17
Figure 16 : Gamme de fabrication - Ligne Stepper – Partie 1 .....	18
Figure 17 : Gamme de fabrication - Ligne Stepper – Partie 2 .....	19
Figure 18 : Caméra intel realsense D455 avec support universel .....	20
Figure 19 : essais avec la intel realsense D455 .....	20
Figure 20 : essais avec la Stereolabs ZED 2 .....	21
Figure 21 : Mechanical Drawing of Intel Realsense D455 .....	22
Figure 22 : Support 1 - C.A.O.....	22
Figure 23 : Support 2 - C.A.O.....	23
Figure 24 : Support 2 imprimé en 3D et monté sur la ligne.....	23
Figure 25 : Maquette ligne – Vue 1 .....	24
Figure 26 : Maquette ligne - Vue 2 .....	24
Figure 27 : Maquette ligne – Vue 3 .....	24
Figure 28 : C++ code sample .....	26
Figure 29 : Illustration des skeleton points of tracking.....	26
Figure 30 : Skeleton Detection - Vue 1 .....	27
Figure 31 : Skeleton Detection - Vue 2.....	27

# XIII. ANNEXES

---



UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE DE BELFORT-MONTBÉLIARD

## Cahier des charges : Vision-based analysis

UV TW53 – T053

Automne 2020

### **Vision-based analysis and prediction of workers' gestures in assembly line**

**Zhi Yan** – Enseignant suiveur

**Mohammed Bardaq** – Etudiant IMSI 5

**Hanane Boukour** – Etudiante IMSI 5

**Axel Heren** – Etudiant IMSI 5

Département IMSI : Site de Belfort



## Table des matières :

I. Objectifs du projet :.....	2
II. Responsabilités et acteurs :.....	3
III. Besoins et contraintes :.....	3
IV. Ressources nécessaires :.....	4
V. Critères de réception du projet :.....	4
VI. Signatures :.....	4
VII. Annexes :.....	5



## I. Objectifs du projet :

Le projet d'analyse basée sur la vision et la prédiction des gestes des opérateurs sur une ligne d'assemblage (*Vision-based analysis and prediction of workers' gestures in assembly line*) s'inscrit le cadre des sujets proposés aux étudiants de l'unités de valeur TW53. L'objectif principal étant d'étudier la faisabilité et l'intégration complète d'une caméra sur une ligne de production (ligne de production des vérins au sein de l'usine pilote).

Ainsi, pendant 18 semaines consécutives, sous la supervision de M. Yan qui est également notre interlocuteur direct pendant le semestre, des expérimentations et des recherches auront lieu de manière hebdomadaire. Il s'agit de plusieurs séances pratiques en usine pilote.

Pour traiter au mieux ce sujet et balayer un maximum d'informations essentielles tout en consacrant des séances entières aux applications pratiques, nous avons alors décliné notre projet autour de 3 principales phases :

- 1) Comprendre l'environnement industriel et les types de caméras possibles.
- 2) Réaliser des essais, installer les dispositifs liées à la vidéo.
- 3) Analyser les résultats obtenus et en préciser les perspectives futures.

Le projet repose sur sa finalité, en effet, au-delà de cette étude complète de faisabilité, il faut y appréhender ses enjeux. Les objectifs de ce projet devraient permettre de détecter les gestes de l'opérateur et prédire les actions pour aider au maximum l'opérateur via l'utilisation d'un robot collaboratif.



Image 1 : Photo de la ligne au sein de l'usine pilote

Source : U.T.B.M



## II. Responsabilités et acteurs :

L'équipe est composée de 3 membres avec des responsabilités bien définies :

- Mohammed Bardag → Chef de projet  
[Mohammed.Bardag@utbm.fr](mailto:Mohammed.Bardag@utbm.fr) – 07 60 48 36 78 – Etudiant IMSI 5
- Hanane Boukour → Responsable des essais  
[Hanane.Boukour@utbm.fr](mailto:Hanane.Boukour@utbm.fr) – 07 51 05 43 39 – Etudiante IMSI 5
- Axel Heren → Correspondant client  
[Axel.heren@utbm.fr](mailto:Axel.heren@utbm.fr) – 06 83 94 97 97 – Etudiant IMSI 5

## III. Besoins et contraintes :

Ce projet est naturellement soumis à des contraintes induites par l'environnement dans lequel il évolue mais aussi des contraintes d'ordre temporel.

Une analyse fut donc réalisée au préalable pour mener à bien la réalisation du projet.

Voici une liste non exhaustive des besoins et contraintes du projet :

- Réaliser un étude de faisabilité complète
- Quantifier les effets apportés par les différents paramètres liés à l'environnement
- Utiliser en priorité une des trois caméras disponibles
- Aborder la démarche d'un projet industriel concret
- Privilégier les logiciels attribués par défaut des constructeurs
- Intervenir de manière hebdomadaire sur 18 semaines
- Diversifier les supports lors des interventions
- Etablir une gestion des connaissances complète
- Réaliser une étude préliminaire sur la communication avec le robot (ROS)
- Respecter les 3 phases du projet
- Présenter les caractéristiques intrinsèques de la caméra retenue
- Assurer une continuité du projet en détaillant son cheminement
- Solliciter l'ensemble des acteurs du projet
- Faire des demandes de prêt de matériel
- Effectuer un retour en continu sur l'avancée du projet
- Planifier le projet autant que possible



## IV. Ressources nécessaires :

Les ressources utilisées pour le bon déroulement du projet sont les suivantes :

- Plusieurs ordinateurs sous Windows
- Matériels et consommables pour les expérimentations
- Softwares par défaut proposés par les constructeurs
- Divers équipements disponibles dans les salles de classe

**Remarque :** ce projet ne nécessite pas d'investissement particulier dans sa globalité. Les ressources financières et le budget ne sont donc pas pris en compte pour notre étude.

## V. Critères de réception du projet :

Le client nous a fait part de ses attentes au niveau des livrables lors de notre première réunion.

Le livrable est constitué de deux parties, un rapport détaillé présentant la démarche de recherche effectuée pendant toute la durée du projet. Ce dernier précisera la qualité de l'étude de faisabilité et renseignera au maximum le thème du projet. A cela, s'ajoutera une soutenance liée au rapport concluant ainsi l'ensemble tout en ajoutant un aspect visuel.

## VI. Signatures :

Cahier des charges réalisé le 18/10/2020 à Belfort,

Pour l'enseignant-chercheur, représenté par M. Yan,

*Signature :*

Avec l'accord des enseignants, représenté par M. Yan,

*Signature :*

Après concertation des étudiants du projet, représenté par l'équipe MAH,

*Signature :*

*Mah Team*

