

UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE DE BELFORT-MONTBÉLIARD

Implantation d'un robot sur une ligne de d'assemblage

Rapport de TW53 – A20

Loïc Henriet – Clément Vacher - Marie PERROT

Département Ingénierie et Management des systèmes industriels

Suiveur UTBM
Zhi Yan

Introduction

Nous avons mené un projet dans le cadre de l'Unité de Valeur TW53. Cette matière consiste à mener à bien un projet à caractère industriel. Notre groupe se compose de Marie Perrot, Loic Henriet et Clément Vacher, tout trois étudiant en Ingénierie et Management des systèmes industriels (IMSI).

Le sujet que nous avons choisi d'étudier et qui nous a été attribué concerne « l'implantation d'un robot sur une ligne de production ». En effet, la formation IMSI dispose d'une « Usine Pilote » avec 2 lignes de productions sur lesquels les dépositaires du sujet souhaiteraient avoir la possibilité d'installer un robot collaboratif. Ces lignes de productions pourraient donc être utilisées avec un ou plusieurs postes robotisés ou non.

Notre rôle est ici d'étudier la faisabilité et de formuler une preuve de concept en étudiant le poste et en proposant des solutions d'adaptation à la ou les lignes de production existantes. Ces solutions devront prendre en compte l'espace de travail du robot et sa station ainsi que la sécurité de l'opérateur lors de la collaboration Homme/Machine.

Un autre groupe de travail est chargé de travailler sur l'appréhension visuel du robot sur le poste via une caméra. Nous collaborerons avec eux pour que nos solutions soient compatibles.

Remerciements

Nous adressons nos remerciements aux personnes qui nous ont aidé et encadré dans la réalisation de ce projet ainsi que pour leur bienveillance et leur gentillesse.

En premier lieu, nous remercions Mr Deng de nous avoir accompagné tout au long de ce semestre.

Nous remercions également Mr Yan d'avoir répondu à chacune de nos questions.

Nous tenons aussi à remercier Mr El Mahi et Mr Rovira pour leur accompagnement et le temps consacré à notre projet.

Table des matières

1	Cadrage du projet.....	4
1.1	Sujet.....	4
1.2	Définition du projet et cahier des charges.....	4
1.3	Organisation.....	5
1.4	Récapitulatif ressources et attendus.....	6
1.4.1	Ressources nécessaires.....	6
1.4.2	Livrables.....	6
2	Présentation du projet.....	7
2.1	Contexte général.....	7
2.1.1	L’usine pilote et l’industrie 4.0.....	7
2.1.2	Les postes de travail étudiés.....	8
2.2	Le robot collaboratif.....	9
2.2.1	Définition générale.....	9
2.2.2	Exemples d’utilisations.....	10
2.2.3	Le robot collaboratif utilisé.....	11
2.2.4	Le Préhenseur.....	12
3	Déroulement du projet.....	13
3.1	Familiarisation avec l’environnement et les outils du projet.....	13
3.1.1	Les lignes de production.....	13
3.1.2	Le logiciel RobotStudio.....	14
3.1.3	Le logiciel Catia.....	14
3.2	Etat d’avancement.....	15
4	Phases du projet.....	16
4.1	Analyse des pièces à manipuler et détermination du moyen de manutention.....	16
4.1.1	Les pièces du poste 4 – Ligne d’assemblage des steppers.....	17
4.1.2	Les Pièces du poste 1 – Ligne d’assemblage des vérins.....	18
4.2	Etude du poste de travail et du magasin.....	19
4.2.1	Etude ergonomique du poste pour le robot et l’opérateur.....	19
4.2.2	Modélisation des postes de travail.....	19
4.3	Conception et simulation numérique.....	20
4.3.1	Conception CAO et création.....	20
4.3.2	Simulation RobotStudio.....	24
5	Conclusion.....	28
	Bibliographie.....	29
	Annexes.....	30

1 Cadrage du projet

1.1 Sujet

Le sujet choisi est le suivant ;

“Feasibility analysis on the installation of the robot arm in assembly line”

« La collaboration homme-machine/robot est une technologie de pointe dans l'industrie 4.0. Le département IMSI espère développer un ensemble de lignes d'assemblage intelligentes. Parmi elles, nous souhaitons installer des bras robotisés pour assister les opérateurs dans leur travail.

Cependant, leur installation vaut la peine d'être étudiée. Effectivement, il y a de nombreux facteurs à prendre en compte, tels que l'espace de travail du robot, c'est-à-dire qu'il est nécessaire de s'assurer que le robot peut aider efficacement les opérateurs dans une certaine station, mais aussi de s'assurer qu'il est inoffensif pour les travailleurs et la production lignes pendant le processus de production (sécurité). Dans ce projet, nous espérons mener une étude de faisabilité avec des étudiants, fournir des spécifications de schéma et effectuer une preuve de concept si possible. »¹

1.2 Définition du projet et cahier des charges

Dans un premier temps, nous avons recueilli un maximum d'informations pour définir le cadre du projet. Ainsi, nous avons rencontré le responsable du projet Mr Zhi YAN, puis Mr Patrick OLIVIER le responsable de l'usine pilote et Mr Sihao DENG le responsable robotique, tous deux encadrant de notre projet.

Nous avons pu établir le cahier des charges de notre projet en définissant clairement les objectifs, les différents acteurs et les ressources nécessaires. Nous avons également réalisé un organigramme des tâches prévisionnel accompagné d'un planning GANTT de notre projet. Pour suivre l'avancement des différentes phases de notre projet, nous avons planifié la production et le rendu de deux livrables.

¹ Sujet déposé sur la plateforme UTBM

1.3 Organisation

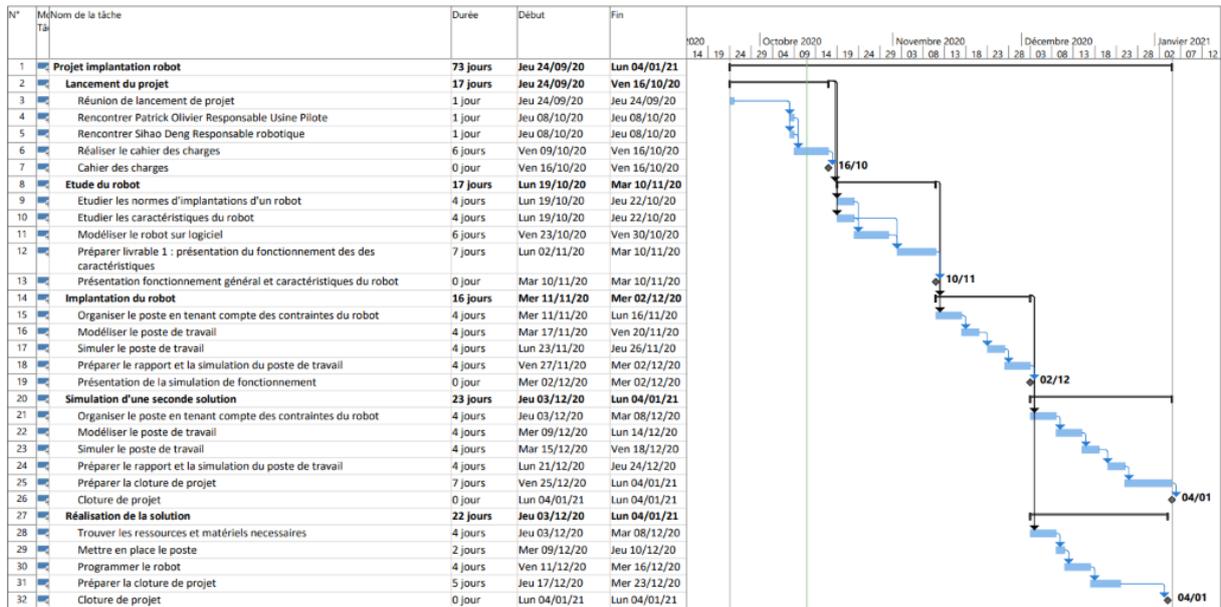


Figure 1 Planning du projet GANTT

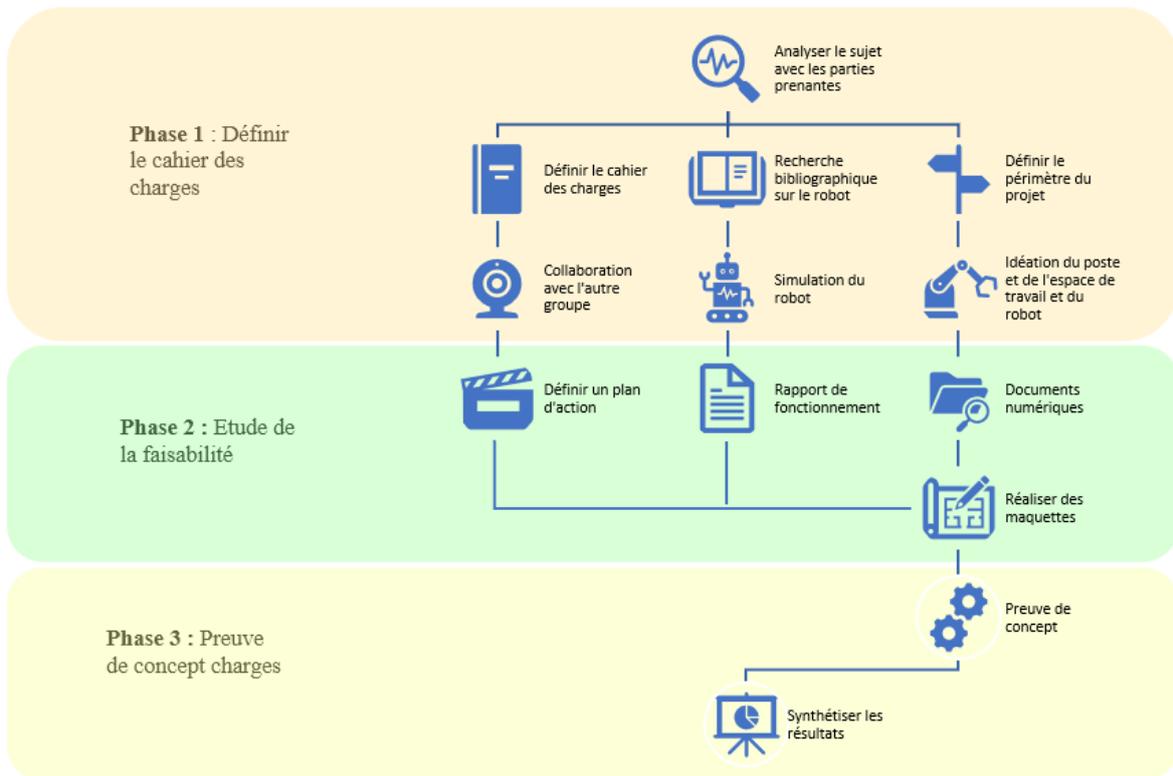


Figure 2 Organigramme des tâches

1.4 Récapitulatif ressources et attendus

1.4.1 Ressources nécessaires

Salles : Usine pilote et salle robotique

Matériels : Robot ABB IRB 1200-5/0.9 , ligne d'assemblage des vérins et des steppers

Logiciel : RobotStudio (ABB), Catia V5 5)

Budget prévisionnel : L'achat de matériels de conditionnements ou de structures tubulaires identiques à ceux utilisés à l'usine pilote pourra être utile. Ils seront compris dans les 1500€ forfaitaire si besoin. L'achat d'un préhenseur pourra être à l'étude.

1.4.2 Livrables

Livrables revue 1 (Semaine 45) : Document numérique Recherches techniques sur le sujet, premières esquisses de la mise en place du robot pour présenter son implantation sur le poste et les interactions avec l'opérateur.

Livrables revue 2 (Semaine 49) : Document numérique et rapport de fonctionnement IMSI- Projets d'application – TW53 Recherches avancées sur le fonctionnement et la mise en place d'une solution d'implantation du robot sur la ligne de production.

Maquette numérique avec un logiciel de robotique.

Livrables revue finale (Semaine 1) : Preuve de concept : maquette numérique ou physique montrant l'implantation et le fonctionnement grossier du robot (sans la préhension). Un rapport plus précis viendra préciser les points non représentés sur la preuve de concept. Si le premier groupe propose plusieurs solutions, la preuve de concept sera remplacée par la modélisation de la deuxième solution du premier groupe.

2 Présentation du projet

2.1 Contexte général

2.1.1 L'usine pilote et l'industrie 4.0

Pour l'usage de la formation IMSI, nous disposons d'une usine pilote nous permettant d'effectuer des travaux pratique en situation de production industriel.



²Avec la modernisation et les nouvelles technologies le monde de l'industrie évolue vers le 4.0. L'industrie 4.0, qu'est-ce que c'est ?

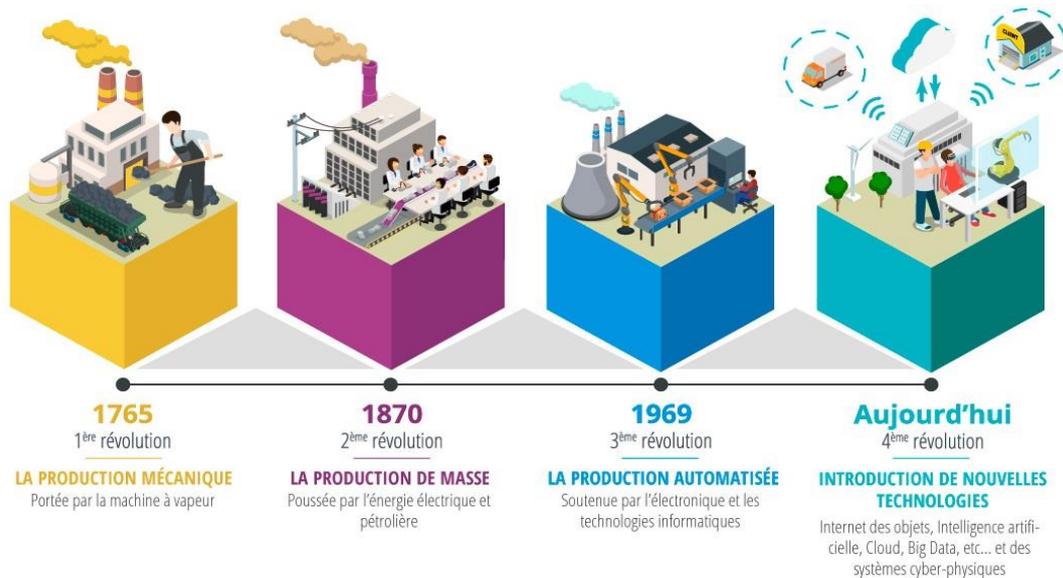


Figure 3 Frise industrie 4.0

Comme le montre l'image ci-dessus l'industrie 4.0 consiste en l'intégration des nouvelles technologies à nos moyens de production.

Notre établissement, soucieux de s'adapter continuellement au monde industriel s'est donc lui aussi lancé dans cette démarche et notre projet permettrait donc d'apporter une dimension plus actuelle à nos lignes de production.

³ 'Industrie 4.0: Définition et Mise En Œuvre Vers l'usine Connectée - Visiativ Solutions' <<https://www.visiativ-solutions.fr/industrie-4-0/>> [accessed 5 January 2021]

Cependant, notre projet n'est pas de remplacer l'opérateur par le robot mais bien de les faire collaborer. C'est ce que l'on appelle l'industrie « 4.H ». Cette appellation vise à prendre en compte le facteur humain dans l'intégration des nouvelles technologies pour nos industries du futur.

2.1.2 Les postes de travail étudiés

L'usine pilote est composée de 2 lignes de production. La ligne d'assemblage de vérin et la ligne d'assemblage de stepper.



Figure 4 Ligne d'assemblage steppers



Figure 5 Ligne d'assemblage vérin

	Ligne stepper	Ligne vérin
Postes	Poste 1 : Montage initial Poste 2 : Montage câble Poste 3 : Montage amortisseur Poste 4 : Habillage final	Poste 1 : Montage corps + tige + flasque inférieur Poste 2 : Montage du flasque supérieur Poste 3 : Montage bouchons + écrou tige + options
Produit		

À la suite de différents échanges avec les porteurs du sujet, nous devons définir sur le ou les poste(s) de travail sur lequel ou lesquels nous allons étudier l'implantation de notre robot. Les avis étant divergents sur l'utilité de l'implantation sur l'une ou l'autre ligne nous avons décidé de produire un livrable qui s'adapterait aux 2 postes. Les postes concernés seront donc le poste 4 de la ligne stepper et le poste 1 de la ligne vérin.

2.2 Le robot collaboratif

2.2.1 Définition générale

L'INRS définit un robot collaboratif comme : "Un robot énergisé, autonome et intégré dans une cellule robotique pour travailler à proximité des opérateurs ou en relation directe avec eux.". La norme ISO/TS 15066 traite des interactions hommes machine et des robots collaboratifs. Nous n'allons pas ici étudier cette norme mais nous allons montrer les points importants qui concernent la mise en place de notre robot au sein de l'usine pilote du département IMSI.

En France, la mise en place d'un robot collaboratif doit suivre la Directive « Machines » 2006/42/CE. Ces robots doivent ensuite être vérifiés par des organismes tels que l'Apave, le Bureau Veritas...

Les robots collaboratifs sont de différents types. Ils peuvent être utilisés pour visser, poncer, saisir, frapper, coller, souder... L'utilisation de ces robots permet donc de remplacer des opérateurs dans des tâches qui sont trop épuisantes, dangereuses ou peu gratifiantes. Les collaborateurs pourront alors se concentrer sur les tâches sur lesquelles ils ont une plus grande valeur ajoutée.

Les robots collaboratifs sont facilement paramétrables et peuvent donc réaliser une multitude de tâches.

Cette collaboration peut aussi générer des risques. Ceux-ci doivent être étudiés et sont régis dans différentes lois.

L'INRS définit 4 risques qui peuvent être apportés lors de la mise en place d'un robot collaboratif.³

RISQUES	ORIGINES	CONSÉQUENCES
Mécaniques⁸ ⁸ http://www.inrs.fr/risques/mecaniques.html	<ul style="list-style-type: none"> ■ Mouvement (bras, pinces, outil, pièce manipulée) dans l'espace d'évolution de l'opérateur. ■ Chute ou éjection de pièces ou produits... 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Écrasement ■ Cisaillement ■ Coupure ou sectionnement ■ Choc ■ Perforation ou piqûre ■ Friction, abrasion...
Thermiques	<ul style="list-style-type: none"> ■ Contact avec des éléments chauds ■ Température excessive liée au processus... 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Brûlure (chaude ou froide) ■ Lésion (yeux, peau) produite par rayonnement
Vibrations⁹ ⁹ http://www.inrs.fr/risques/vibrations.html	<ul style="list-style-type: none"> ■ Contacts avec des éléments en vibration (guidage manuel par exemple)... 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Fatigue ■ Dommages neurobiologiques ■ Désordres vasculaires ■ Choc
Non-respect des principes ergonomiques	<ul style="list-style-type: none"> ■ Mouvements imprévisibles du robot dans l'espace de travail collaboratif ■ Contraintes physiques, psychiques ou mentales du fait de contacts « homme-robot » répétitifs ■ éclairage local insuffisant 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Troubles musculo-squelettiques (TMS) ■ Fatigue ■ Stress ■ Surcharge mentale...

³ INRS . ROBOTS COLLABORATIFS. In : *INRS* [en ligne]. [Consulté le 28 octobre 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.inrs.fr/risques/robots-collaboratifs/ce-qu-il-faut-retenir.html>.

Pour limiter ces risques, nous allons prendre les dispositions suivantes :

Arrêt de sécurité contrôlé : Lorsque l'opérateur rentre dans l'espace de travail qui ne lui est pas attribué, le robot collaboratif détecte cette manœuvre et s'arrête. Ceci empêche l'opérateur de se blesser.

Limitation de la vitesse lors des interactions avec l'opérateur : Elle aura pour intérêt de limiter les blessures de l'opérateur en cas de contact avec le robot. Grâce à l'intelligence artificielle du robot, celui-ci sera capable de savoir si les actions de l'opérateur sont normales ou si elles sont sources de danger. Si tel est le cas, le robot s'arrêtera pour assurer la sécurité des opérateurs.

Les données chiffrées sont disponibles dans les différentes normes ISO telle que la norme ISO 10218-1:2011(fr) Robots et dispositifs robotiques — Exigences de sécurité pour les robots industriels — Partie 1: Robots. Malheureusement, celles-ci ne sont pas diffusées librement sur internet. On pourrait par exemple utiliser le mode 4 comme moyen de protection, qui est défini par des abaques de l'ISO/TS 15066:2016 qui indiquent le seuil de force.

2.2.2 Exemples d'utilisations

En médecine : Robot d'assistance pour des opérations à distance

Dans le domaine militaire : Exosquelettes et drones autonomes

Dans l'industrie : Les industriels PSA, Airbus, Saint-Gobain, Faurecia équipent leurs sites de production avec des robots collaboratifs.

Par exemple, le groupe PSA intègre sur le site de Sochaux des robots UR10 avec des opérations de vissage. Ces opérations situées dans le bas de la caisse pouvaient engendrer des problèmes d'ergonomie. Sur les 200 000 voitures produites avec l'intervention de ce robot, aucune dégradation de véhicule et aucune panne n'a été constatée. ⁴

⁴ UNIVERSAL ROBOTS . LES COBOTS UR10 EN AVANT-GARDE DU FUTUR - PSA INTÈGRE LA COBOTIQUE. In : *Universal Robots* [en ligne]. [Consulté le 28 octobre 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.universal-robots.com/fr/%C3%A9tudes-de-cas/usine-de-sochaux-du-groupe-psa/>.

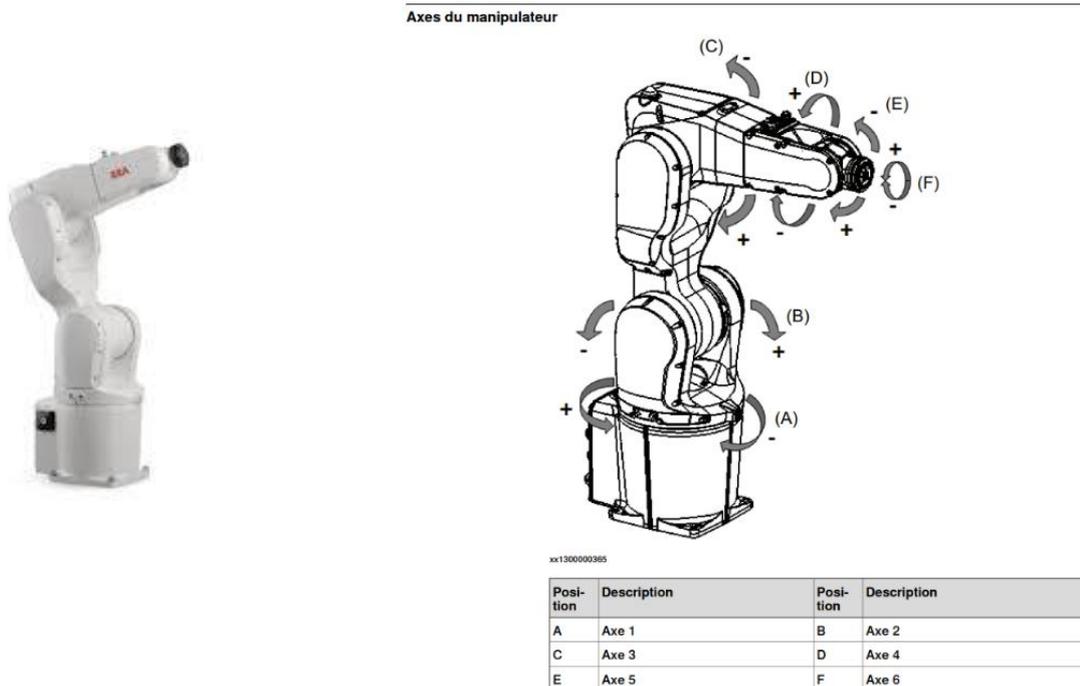
2.2.3 Le robot collaboratif utilisé

La présentation de notre robot concernera principalement les points intéressants à l'échelle de notre projet.

Toutes les données sont extraites du manuel ABB ⁵:

Le robot collaboratif avec lequel nous travaillerons est le robot « ABB IRB 1200-5-0.9 Type B ».

C'est un robot collaboratif 6 axes qui comporte les caractéristiques suivantes :



Type de robot	Capacité de manutention (kg)	Portée (m)
IRB 1200	5 kg	0,9 m
Masse du manipulateur		
Données	Masse	
IRB 1200-5/0.9	54 kg	
Autres informations techniques		
Données	Description	Remarque
Niveau de bruit aération	Niveau de pression acoustique à l'extérieur	< 70 dB

Les principales normes applicables au robot en lui-même sont des normes de sécurité.

⁵ ABB . Caractéristiques du produit IRB 1200. In : *ABB* [en ligne]. [Consulté le 15 octobre 2020]. Disponible à l'adresse : <https://library.e.abb.com/public/2aad8df5e5de427a93005ca8c0ed5f47/3HAC046982%20PS%20IRB%201200-fr.pdf?x-sign=ao+qEMmjtR6SrZGINdKIs3RzgKt6SuTwnOEQ8pvcXZivchUL07UhlGhVI50tUvTf>.

2.2.4 Le Préhenseur



Toutes les données sont extraites du manuel constructeur⁶

La référence du préhenseur est la MGP812NC de la série MGP 800 commercialisée par la société zimmer group

Il s'agit d'une pince parallèle deux mors. Ce produit est reconnu comme un produit avec une performance supérieure à celle de « l'application de référence », notamment au niveau du poids et au niveau de l'absorption maximale de la force et du couple. C'est un produit également performant pour une utilisation continue et le constructeur garantit une utilisation jusqu'à 10 millions de cycles sans entretien. Un produit finalement très performant par rapport à l'utilisation faites au niveau du contenu pédagogique de l'UTBM.

Nous devons concevoir une pince qui viendra se fixer sur ce préhenseur afin de manipuler les pièces. Nous disposerons également d'une ventouse pour la manipulation des différentes pièces.

⁶ Zimmer group <<https://www.zimmer-group.com/fr/technologies-et-composants/technique-de-manutention/pinces/pneumatique/pinces-paralleles-deux-mors/serie-mgp800/produkte/mgp812nc>> [accessed 25 november 2020]

3 Déroulement du projet

3.1 Familiarisation avec l'environnement et les outils du projet

3.1.1 Les lignes de production

Les lignes de productions de l'usine pilotes sont composées de différents éléments.

Les postes de la ligne vérin sont construit sur ce modèle de rack d'approvisionnement :



Les postes de la ligne de stepper sont construit sur le même modèle avec un rail à galet permettant de faire circuler le stepper le long de la ligne et de l'assembler sur un support dynamique. Il possède également un rail de retour en position basse qui permet de faire revenir les support d'assemblage vie que premier poste.



3.1.2 Le logiciel RobotStudio

Comme évoqué précédemment pour les besoins du projet, la prise en main du robot et la production d'une simulation numérique était demandée, nous avons dû utiliser le logiciel RobotStudio.



Le logiciel RobotStudio est un logiciel permettant de reproduire une cellule ou une ligne de production numériquement. Le logiciel utilise la même technologie qui est utilisée pour programmer les robots ce qui permet de pouvoir simuler de façon réaliste ses mouvements et son encombrement dans l'espace.

N'ayant suivi aucun cours de robotique, nous avons pris contact avec Mr Deng qui nous a donné accès à des cours et fourni la licence logiciel nécessaire pour notre projet.

3.1.3 Le logiciel Catia

Le logiciel Catia pour sa part, est un logiciel de conception assistée par ordinateur. La CAO est utilisée pour modéliser et dimensionner des pièces en 3D numérique. Ces pièces peuvent ensuite être produites, enregistrées au format 3D STL ou imprimées en 3D.

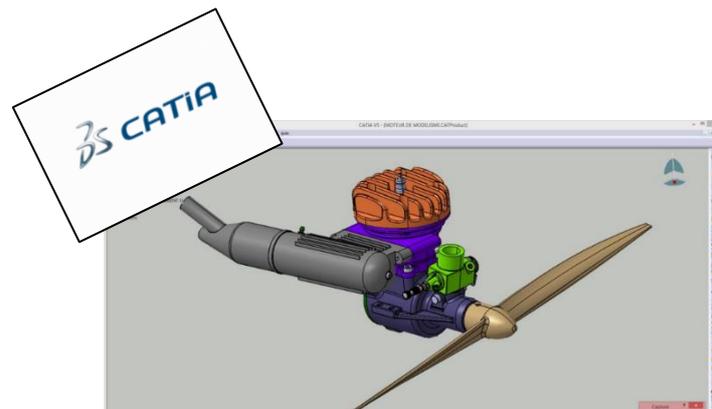


Figure 7 Illustration Catia

⁶ ABB Conversations > Get More out of Your Robotic Automation Projects' <<https://www.abb-conversations.com/2013/01/get-more-out-of-your-robotic-automation-projects/>> [accessed 8 January 2021]

⁷ 'Catia V5, la CAO pour l'ingénierie et la conception mécanique', Visiativ Solutions <<https://www.visiativ-solutions.fr/catia-v5/>> [accessed 8 January 2021]

Il permet aussi d'assembler différentes pièces entre elles afin de construire un ensemble comme nous pourrions le retrouver physiquement.

Nous l'avons utilisé pour concevoir :

- L'assemblage de notre rack d'approvisionnement dynamique ainsi que le rail de la ligne de production
- Les supports permettant de positionner les pièces dans les boîtes sur ce rack (facilitant la manipulation des pièces par le robot)
- Les différentes versions de pinces

Les modélisations produites ont ensuite pu être utilisées et incorporées à la simulation RobotStudio.

3.2 Etat d'avancement

Le premier livrable concernait les recherches techniques sur le sujet. Il a été rendu par mail en semaine 46.

Plus précisément nous avons fait un état des lieux de l'usine pilote avec ses lignes d'assemblages puis avons résumé nos recherches bibliographiques à propos :

- ✓ Des avantages et inconvénients de la mise en place d'un robot collaboratif avec des exemple d'utilisation
- ✓ Du manipulateur Robot IRB 1200-5/0.9 Type B
- ✓ Du préhenseur MGP812NC

Le second livrable concernait lui le fonctionnement et la mise en place d'une solution d'implantation du robot sur ligne de production ainsi que l'avancement un état des lieux de nos productions depuis le dernier livrable. Il a été rendu en semaine 50 accompagné d'une vidéo de simulation Robot Studio.

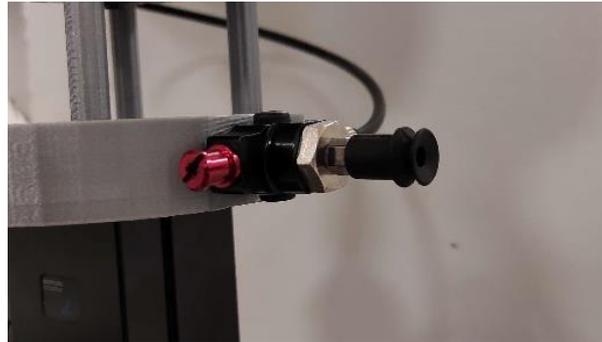
Nous avons finalement produit les différents travaux ci-après :

- ✓ Simulation sur RobotStudio
- ✓ Modèle 3D des racks d'approvisionnements
- ✓ Modèle 3D de la pince adapté au préhenseur puis impression 3D du modèle choisi.
- ✓ Création d'un rack d'approvisionnement d'essai et test avec le robot afin d'évaluer l'encombrement et les interactions dans l'implantation
- ✓ Modèle 3D des bacs comme support des pièces
- ✓ Usinage de ces supports en mousse avec l'UGV

4 Phases du projet

4.1 Analyse des pièces à manipuler et détermination du moyen de manutention

Afin de concevoir la pince à fixer sur le préhenseur, nous avons répertorié les pièces à manipuler sur les 2 postes de travail. Notre but étant de créer une solution qui soit utilisable sur les deux lignes.

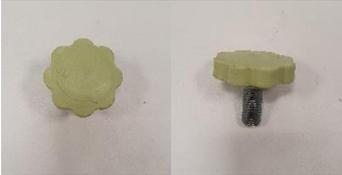


A noter que nous avons appris au cours du semestre que nous avons la possibilité d'utiliser, comme moyen de manutention, une ventouse. Nous choisirons donc entre le moyen de manutention « pince » et « ventouse ».

4.1.1 Les pièces du poste 4 – Ligne d’assemblage des steppers



Le 4^{ème} poste de la ligne d’assemblage des steppers comporte 3 pièces différentes à venir monter sur le stepper. Nous avons décidé du moyen le plus adéquat pour la manipulation de celles-ci.

Référence	Photo	Moyen de manipulation	
Compteur - COMPTVC		Ventouse	Pince
Vis amplitude - VIS060		Ventouse	Pince
Roulette		Ventouse	Pince

4.1.2 Les Pièces du poste 1 – Ligne d’assemblage des vérins



Le poste 1 de la ligne vérin assemble 3 pièces, or il y a plusieurs références avec des dimensions particulières. Nous concevrons notre pince de manière à être compatible avec ces dimensions.

Il y a en tout 8 boîtes sur le poste vérin contenant des tiges, des corps et des flasques de tailles différentes.

Référence	Photo	Moyen de manipulation	
Tiges – ENS_TIGE_32-XX		Ventouse	Pince
Corps - CORPS_XX		Ventouse	Pince
Flasque – ENS_INF_XX		Ventouse	Pince

4.2 Etude du poste de travail et du magasin

4.2.1 Etude ergonomique du poste pour le robot et l'opérateur

Avant de commencer à modéliser nos nouveaux postes de travail, nous avons étudié les différentes contraintes. Ainsi, à partir des lignes existantes nous avons imaginé des nouveaux racks de réapprovisionnement pour les pièces vérin et stepper en prenant en compte les éléments suivants :

- ✓ Compatibilité Robot (est ce que le bras mécanisé peut accéder aux endroits voulus)
- ✓ Les espaces pour les mouvements et les distances de sécurité
- ✓ Les dimensions des postes de travail
- ✓ L'accès à l'approvisionnement en pièce pour l'opérateur logistique qui récupère les bacs vide et en remets de nouveau.
- ✓ La sécurité

Pour le dernier point, nous nous sommes également informés sur les impératifs légaux qu'implique une telle installation. Notamment dans la DIRECTIVE 2006/42/CE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL, ou il y a des informations sur les différentes mesures de protection contre les risques mécaniques. Mais celles-ci ne sont pas quantifiées. On retiendra par exemple le besoin d'avoir des carénages arrondis pour éviter les risques de pincements. ⁸

Enfin, pour assurer la sécurité de l'opérateur il faudrait ajouter un bouton arrêt urgence à un emplacement pertinent pour arrêter le robot rapidement. Les simulations réalisées à l'aide de robot studio nous ont grandement aidées pour évaluer l'ergonomie globale du poste de travail.

4.2.2 Modélisation des postes de travail

Ainsi, en prenant en compte les éléments précédents nous avons modélisé avec Catia les nouveaux racks de réapprovisionnement comme vous pouvez l'observer ci-dessous. Nous avons monté au sein de l'usine pilote le rack de réapprovisionnement de la ligne stepper pour tester le poste de travail en condition réelles. Les plans de ces bâtis sont disponibles dans les livrables.

⁸ DIRECTIVE 2006/42/CE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 17 mai 2006 relative aux machines et modifiant la directive 95/16/CE (refonte) [en ligne]. [Consulté le 27 octobre 2020]. Disponible à l'adresse : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:32006L0042#d1e966-24-1>

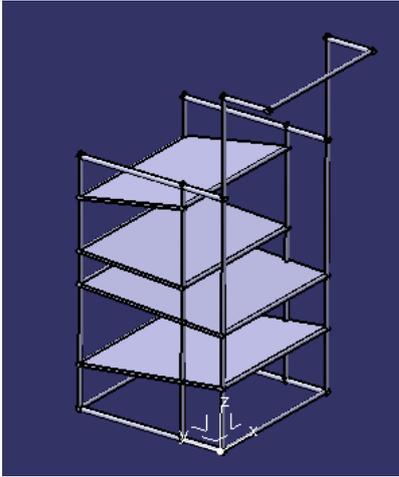


Figure 8 Rack de réapprovisionnement ligne vérin

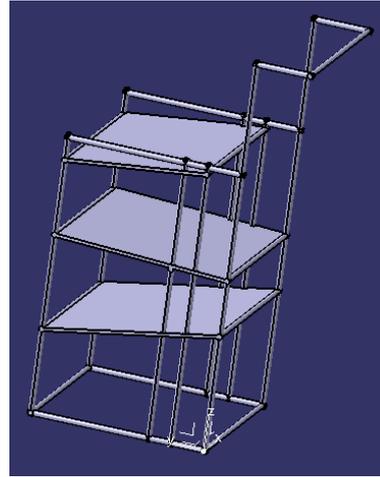


Figure 9 Rack de réapprovisionnement ligne stepper

4.3 Conception et simulation numérique

4.3.1 Conception CAO et création

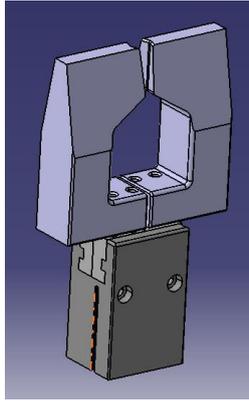
La Pince

Dans un premier temps, pour pouvoir attraper les pièces avec le robot à l'aide du préhenseur, nous avons besoin d'une pince solide qui soit capable :

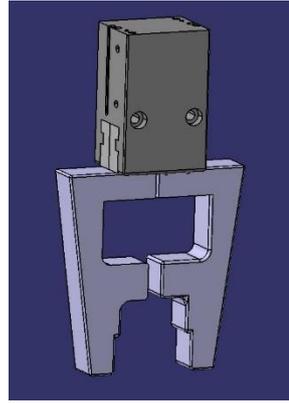
- ✓ Récupérer différents types de pièces pour les déplacer
- ✓ En prenant en compte le tableau avec les moyens de manipulation (page 18 et 19), elle devra attraper 2 tiges de diamètre différent et 2 parallélépipèdes de dimensions différentes
- ✓ Maintenir fermement les pièces
- ✓ Résister aux forces exercées sur elle sans déformation

En prenant en compte ces exigences, nous avons choisi de modéliser cette pince en CAO pour ensuite l'imprimer en 3D.

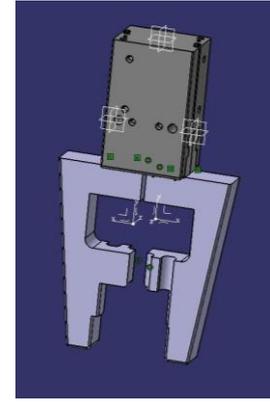
Nous avons donc modélisé, imprimé puis testé avec le robot et le préhenseur plusieurs pinces. Au fur et à mesure nous avons apporté des améliorations jusqu'à ce que nous ayons réalisé la pince qui répondait à toutes nos exigences. Vous trouverez ci-dessous quelques photos de nos différentes versions modélisées et imprimées.



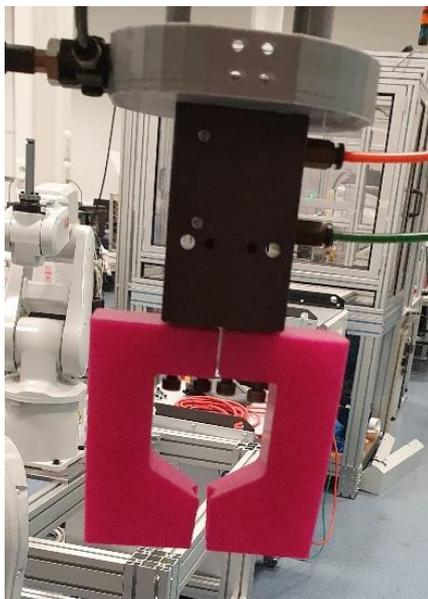
Version n°1 modélisée



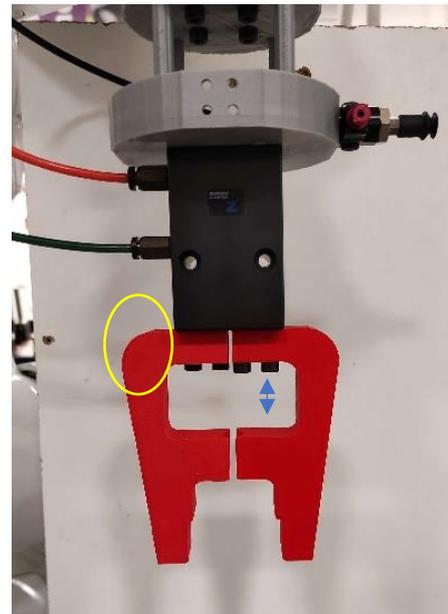
Version n°2 Modélisée



Version n°3 modélisée



Version n°1 imprimée en 3D



Version finale imprimée en 3D

Nous allons détailler rapidement les choix qui nous ont conduit à la pince retenue :

La pince version 1 ne permettait pas la préhension des corps 40*40 du vérin. De plus, l'accès pour le vissage n'était pas optimisé.

La pince version 2 ne permettait pas une préhension assez forte des axes. De plus, le plat sur la zone de serrage des axes rendait la préhension moins fiable et répétable.

La pince version 3 présentait une gorge pour faciliter la préhension des axes ainsi qu'un accès simplifié pour la fixation. Malheureusement, cette amélioration fragilisait la pince et nous avons donc augmenté l'espace entre la tête de vis et la pince (représenté par la flèche bleu)

La pince finale, la version 4, permettait de prendre l'ensemble des pièces, avec une solidité améliorée grâce aux chanfreins sur la partie supérieure qui permettent une meilleure répartition des efforts.

Les supports des pièces

Afin que le robot puisse récupérer les pièces dans les racks de réapprovisionnement, nous avons besoin que les pièces soient toutes dans la même position et accessible dans les bacs. Pour cela nous avons imaginé des supports que nous positionneront à l'intérieur des bacs avec des empreintes pour maintenir les pièces.

Après un rapide essai sur de la mousse récupérée, nous avons validé cette solution.

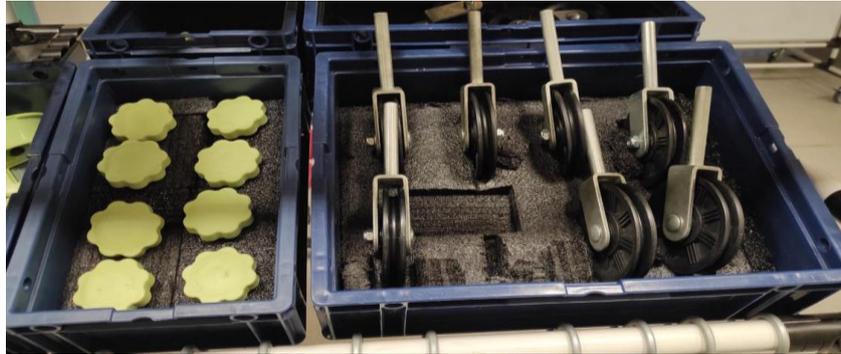


Figure 10 Premier essai avec mousse

Nous allons donc modéliser ces supports puis les usiner à partir de mousse ou de polystyrène. Nous avons ensuite 3 procédés d'usinage possible pour les réaliser :

- ✓ La découpe au fil chaud
- ✓ L'U.G.V. : Usinage grande vitesse
- ✓ La découpe jet d'eau

Après en avoir évalué les avantages et inconvénients de chacun, nous avons décidé d'utiliser l'UGV avec comme matériaux le polystyrène.

Enfin, nous avons pris en compte les contraintes suivantes :

- ✓ Le nombre exact de pièce par bacs imposé
- ✓ Les dimensions des bacs pour que le support s'adapte à l'intérieur
- ✓ L'espace minimum entre deux pièces
- ✓ L'accessibilité du robot et de la pince pour récupérer les pièces
- ✓ La faisabilité de l'usinage

Nous avons donc modélisé les 10 supports suivants que vous retrouverez avec leurs mises en plan avec le livrable :

Ligne vérin

- ✓ Support Tige Grande
- ✓ Support Tige Petite
- ✓ Support Flasque grande
- ✓ Support Flasque Petite
- ✓ Support Corp Grand
- ✓ Support Corp Petit

Ligne Stepper

- ✓ Support Compteur
- ✓ Support Vis amplitude
- ✓ Support Roulette
- ✓ Support Rebus

Ci-dessous, voici un exemple :

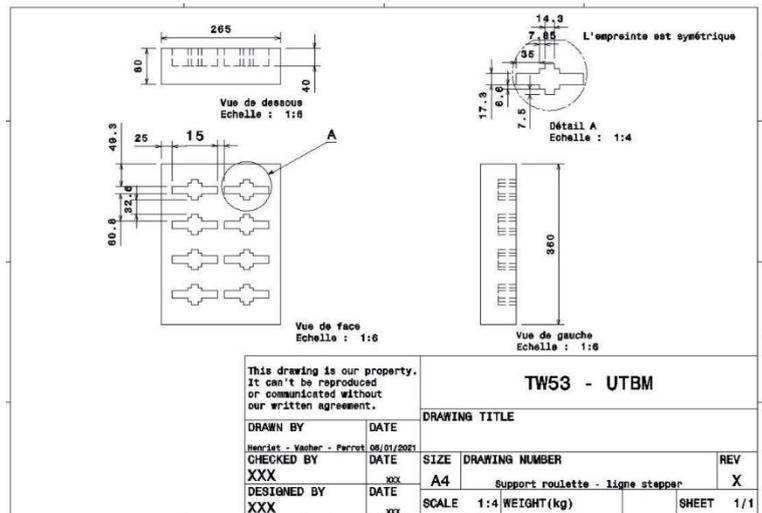
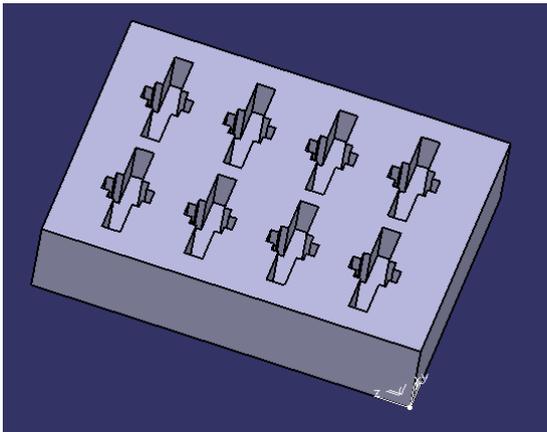


Figure 11 Modélisation et la mise en plan du support roulette pour la ligne stepper

Dans un premier temps, nous avons décidé d'usiner seulement les supports de la ligne stepper. Effectivement c'est avec celle-ci que nous testerons en premier notre nouveau poste de travail.



Figure 13 Support usiné complet placé sur le rack



Figure 13 Support roulette usiné

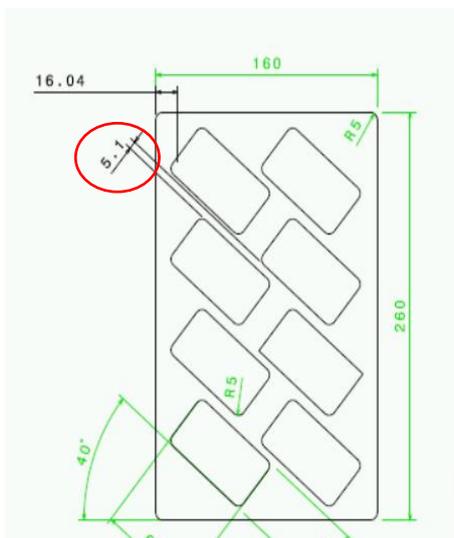


Figure 14 Mise en plan de la solution optimale du compteur

Nous avons eu des difficultés pour le support des compteurs. Effectivement, faire rentrer les 8 pièces dans le bac dans la même position est compliqué car la surface est limitée. La meilleure solution que nous allons trouver implique un espace d'environ 5 mm entre 2 pièces (cotation entourée en rouge) ce qui est insuffisant pour pouvoir l'usiner avec l'UGV.

Pour pallier ce problème nous avons essayé un autre procédé : la découpe jet d'eau.

4.3.2 Simulation RobotStudio

L'utilisation du robot ABB nous permettait d'utiliser le logiciel Robot studio. Avec ce logiciel, nous avons donc simulé la mise en place de notre robot sur les lignes de montage stepper et vérins.

Pour simuler notre implantation, nous avons tout d'abord créé les modèles CAO comme expliqué précédemment. Nous avons ensuite importé ces modèles 3D pour animer notre robot en programmant des trajectoires.

Les enveloppes de travail de chaque robot sont disponibles en annexes. La vidéo ainsi que les fichiers de simulations ont été transmis avec ce rapport et peuvent vous permettre de compléter ces explications avec des animations.

Lors de nos implantations, nous avons décidé de nous placer dans un contexte industriel et donc de respecter certaines règles dictées précédemment que nous rappelons ici :

- ✓ Respecter le nombre de pièce dans les bacs
- ✓ Tenir compte des tournées des opérateurs logistiques, et donc avoir un accès aisé à la partie arrière du rack de réapprovisionnement.
- ✓ Limiter les interventions d'opérateurs hors des zones défini d'interactions homme-Robot.

Dans un contexte plus scolaire, il fallait que la ligne soit rapidement adaptable pour une utilisation avec robot ou sans robot, ce qui est fait, puisqu'il faudra tourner le rack de réapprovisionnement d'un quart de tour et déplacer de quelques dizaines de centimètre le robot, qui est sur un meuble roulant pour modifier l'utilisation de la ligne.

Pour les deux lignes, le robot, grâce à la caméra et au machine Learning, va comprendre et interpréter les actions de l'opérateur. Il pourra ensuite proposer la bonne pièce au bon moment à l'opérateur dans l'ordre de la gamme de montage.

A travers les simulations RobotStudio, nous allons vous expliquer le fonctionnement de notre implantation et de la ligne de production.

La ligne de stepper

L'implantation du poste dans cette position offre plusieurs avantages.

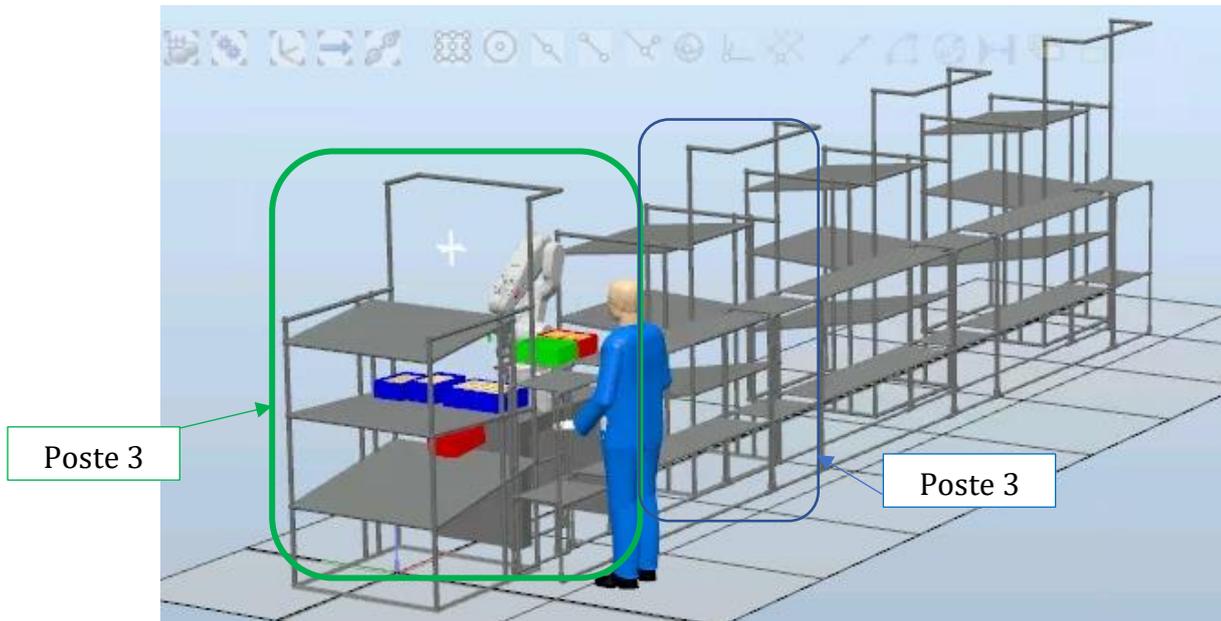


Figure 15 Ligne stepper vue d'ensemble

Tout d'abord, pour l'opérateur logistique, l'accès derrière le rack de réapprovisionnement est aisé. Ensuite, le robot étant situé entre le poste 3 et 4, il pourrait être ajouté au poste 3.

Ensuite les zones d'échanges (boîtes verte et rouge) entre l'opérateur et le robot sont intégrées au poste de travail de l'opérateur, ce qui limite les déplacements inutiles et les risques de TMS.

Pour finir, le positionnement de la caméra permettra d'avoir une vue d'ensemble du poste et des actions de l'opérateur.

La présence du rack de réapprovisionnement permet aussi l'affichage au poste comme la gamme de fabrication sans ajouter d'autres structure et sans limiter la vue de l'opérateur.

Nous allons maintenant détailler l'utilité de chaque élément :

- ✓ La boîte verte représente la boîte d'interaction entre l'opérateur et le robot. Le robot vient déposer la pièce à l'intérieur. L'opérateur peut ensuite la prendre.
Il est à noter que pour des raisons de sécurité, la vitesse du robot est plus lente lorsqu'il rentre dans la zone d'interaction avec l'opérateur (v 200 contre v500 habituellement)
- ✓ La boîte rouge est la boîte de rebuts. Dans le cas où l'opérateur a un problème avec une pièce, il est possible pour lui de la déposer dans cette boîte. La caméra détectera alors la présence de cette pièce et la nature de celle-ci. Le robot amènera alors une nouvelle pièce à l'opérateur. Il prendra ensuite la pièce défectueuse et la placera dans le bas de rebuts placé dans le

rack de réapprovisionnement. L'opérateur logistique pourra alors prendre la pièce et l'amener au service qualité ou équivalent.

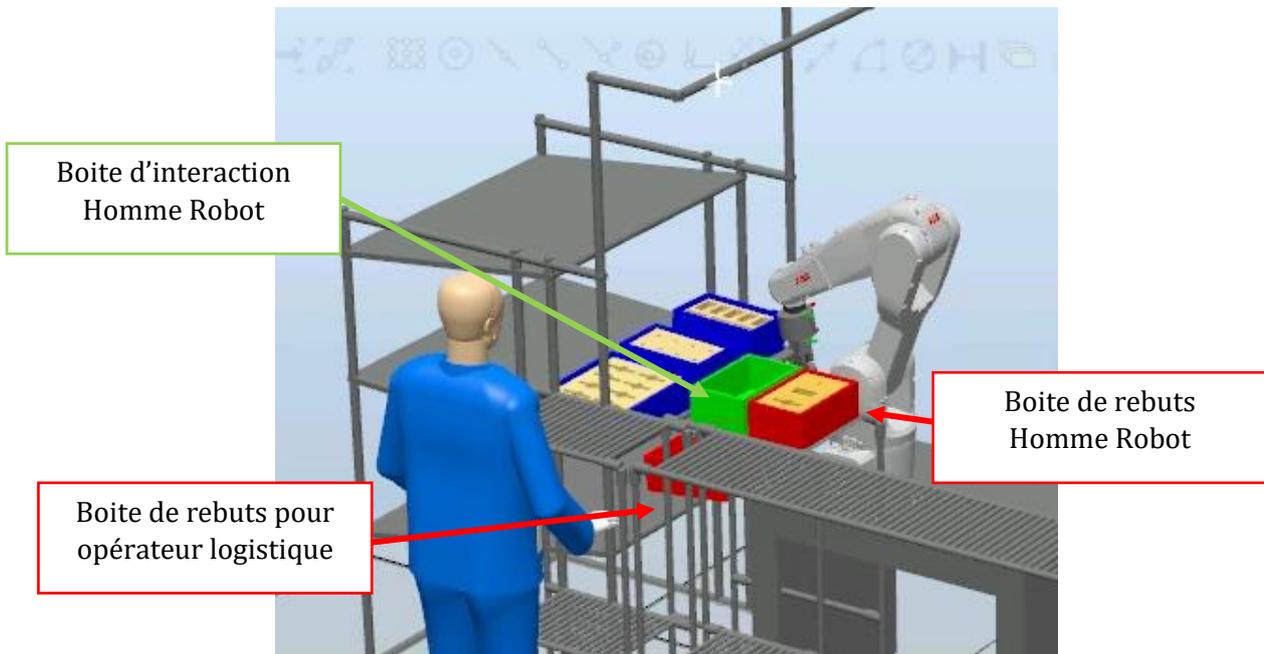


Figure 16 Poste 4 stepper

Comme sur l'image ci-dessous, le robot est capable de mettre le bac vide sur la pente de retour pour que l'opérateur récupère ce bac vide et intègre un nouveau bac plein dans le rack.

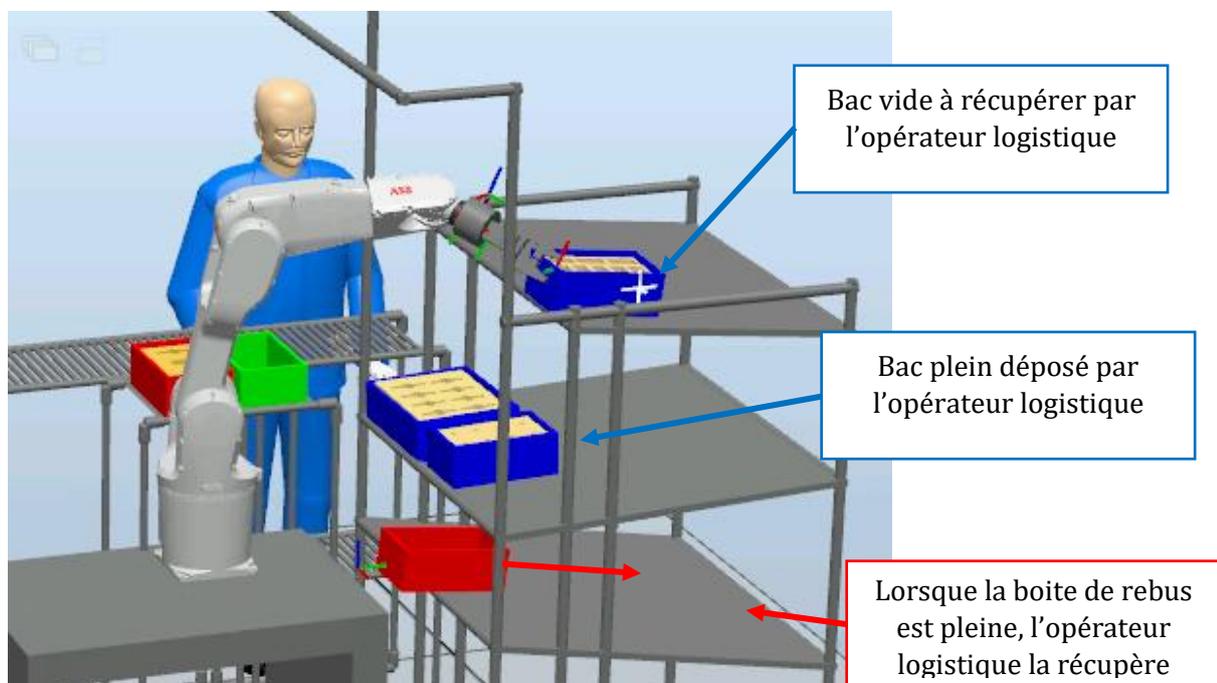
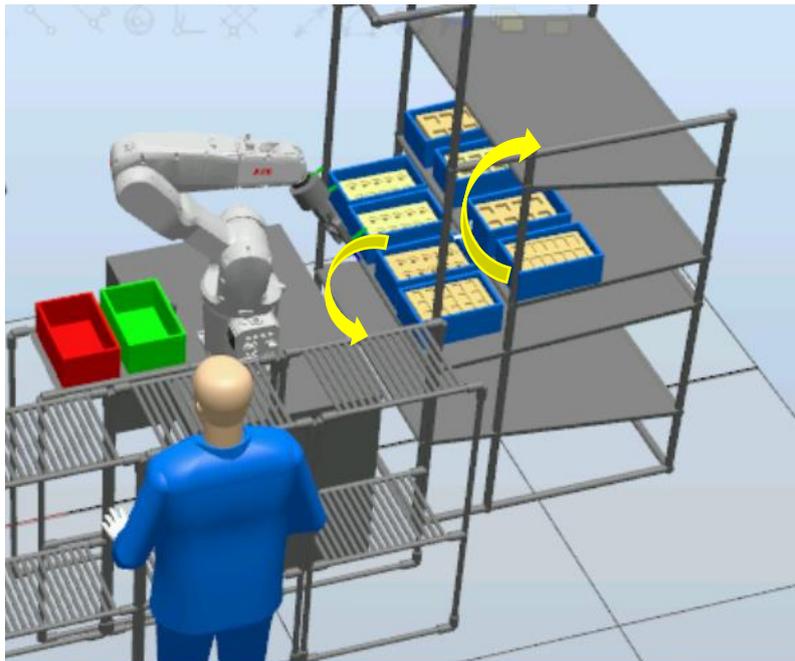


Figure 17 Poste 4 stepper vue arrière

La ligne de vérin

Tout comme la ligne de stepper, la ligne de vérin est équipée des mêmes boîtes d'échanges de pièces conformes et rebuts et des mêmes systèmes de rangement des pièces dans les bacs.

Cependant, la ligne vérin possède deux pentes de retour pour les opérateurs logistiques. En effet, les bacs de la ligne supérieur seront renvoyés par la pente de retour supérieure. Au contraire, les bacs du bas seront renvoyés par la pente de retour inférieure. Ceci permet, dans un contexte industriel, à l'opérateur logistique de savoir rapidement s'il doit effectuer des réassorts de pièces.



Par la suite, le robot pourrait effectuer des prémontages (la tige de vérin dans le corps) et donner à l'opérateur les prémontages réalisés. Une zone à été laissée libre derrière le robot pour effectuer ce pré montage.

5 Conclusion

L'implantation du robot sur les deux lignes de production de l'usine pilote a été réalisée. Des simulations, une vidéo et une preuve de concept ont été fournies.

Après une analyse des technologies des interactions hommes-machines présentes dans l'industrie de nos jours, nous avons étudié la faisabilité de ces systèmes sur notre ligne de production. Dans notre cas, nous avons à notre disposition le robot ABB IRB 1200-5-0.9 Type B ainsi que le préhenseur MGP812NC. Il fallait donc étudier les caractéristiques techniques de ces équipements pour ensuite connaître les possibilités d'actions. Pour que notre solution puisse être testée, nous avons dû créer plusieurs éléments comme un système de manutention pour les différentes pièces qui présentaient des contraintes de forme et de masses différentes. Pour cela, nous avons utilisé la ventouse ainsi qu'une pince que nous avons créée pour l'occasion. En ce qui concerne le bâti, nous avons créé et monté un rack d'approvisionnement semblable à ceux existant actuellement dans l'usine pilote. Il a fallu aussi créer des structures pour tenir les pièces dans les bacs, ces structures sont en mousses et usinées au sein de l'atelier IMSI. La présence des plans comme livrable permettra la reproduction de ces supports. Au final, nous avons pu tester nos solutions réelles avec le robot sur la ligne stepper de l'usine pilote. La ligne vérin est elle aussi fonctionnelle et peut être mise en place avec le robot à tout moment. Pour que le robot soit autonome, il faut alors exporter les trajectoires réalisées sur RobotStudio dans le système de commande du robot.

En ce qui concerne notre apprentissage, nous avons, grâce à ce projet, étudié l'aspect robotique et cobotique de l'industrie 4.0. De plus, nous avons mis nos compétences de CAO, de gestion de projet et d'usinage au profit de ce projet. Nous avons aussi développé des connaissances lors de la simulation avec le logiciel RobotStudio ainsi que pour la simulation en réelle.

Pour la suite du projet, il serait intéressant, à partir des simulations et des trajectoires réalisées sur RobotStudio, de programmer le robot. Cette programmation serait à coupler avec l'étude de la caméra réalisée par l'autre groupe.

Bibliographie

ABB Conversations > Get more out of your robotic automation projects, . [en ligne]. [Consulté le 8 janvier 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.abb-conversations.com/2013/01/get-more-out-of-your-robotic-automation-projects/>

Caractéristiques du produit - IRB 1200,. . pp. 70.

Catia V5, la CAO pour l'ingénierie et la conception mécanique, [san. *Visiativ Solutions* [en ligne]. [Consulté le 8 janvier 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.visiativ-solutions.fr/catia-v5/>

DIRECTIVE 2006/42/CE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 17 mai 2006 relative aux machines et modifiant la directive 95/16/CE (refonte) [en ligne]. [Consulté le 27 octobre 2020]. Disponible à l'adresse : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:32006L0042#d1e966-24-1>

Industrie 4.0 : définition et mise en œuvre vers l'usine connectée - Visiativ Solutions. [en ligne]. [Consulté le 5 janvier 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.visiativ-solutions.fr/industrie-4-0/>

La C.A.O. & Le Design - Aero Concept Engineering MAGNY-COURS : Soufflerie à tapis roulant - Simulation numérique - Numérisation 3D et Reverse Engineering.. [en ligne]. [Consulté le 8 janvier 2021]. Disponible à l'adresse : <http://www.aero-ce.com/fr/pages/services/etudes/la-cao-et-le-design.html>

MER_GD_PG_MGP812N_SFR_APD_V1.pdf. [en ligne]. [Consulté le 11 novembre 2020]. Disponible à l'adresse : https://www.zimmer-group.com/fileadmin/pim/MER/GD/PG/MER_GD_PG_MGP812N_SFR_APD_V1.pdf

Normes, sécurité et législation en vigueur des robots collaboratifs,. *HumaRobotics* [en ligne]. [Consulté le 27 octobre 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.humarobotics.com/blog/normes-securite/>

Robotisation: les règles d'or pour implanter des robots collaboratifs dans une usine, 2018. *Le Mag* [en ligne]. [Consulté le 27 octobre 2020]. Disponible à l'adresse : <https://lemag.bureauveritas.fr/robotisation-regles-dor-implanter-robots-collaboratifs-usine/>

Annexes

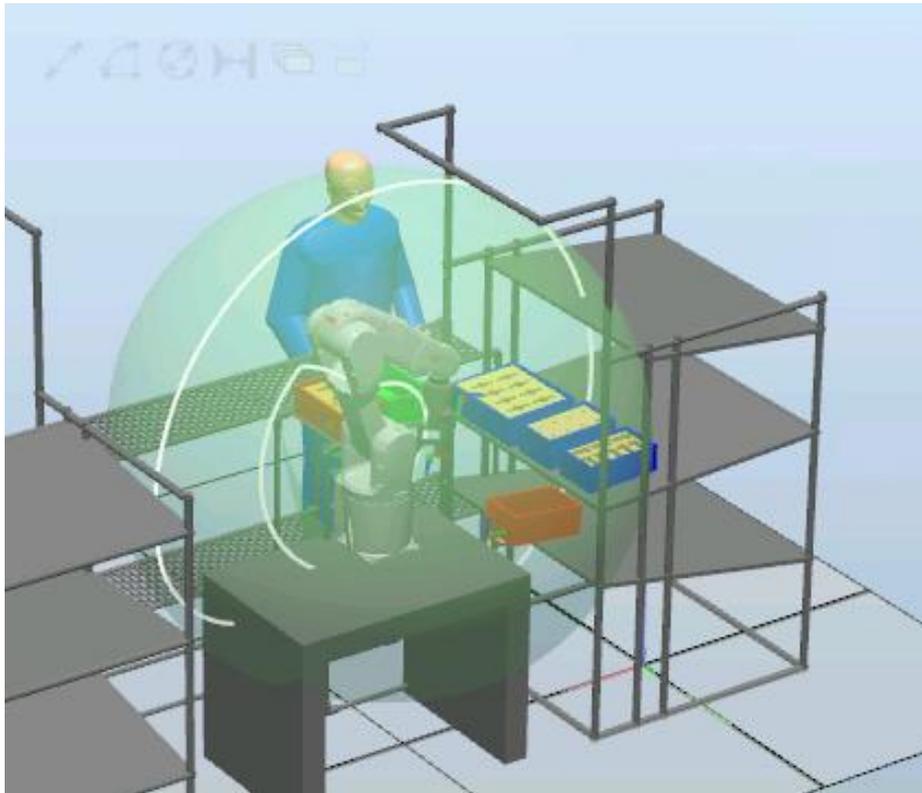


Figure 18 Enveloppe de travail ligne stepper

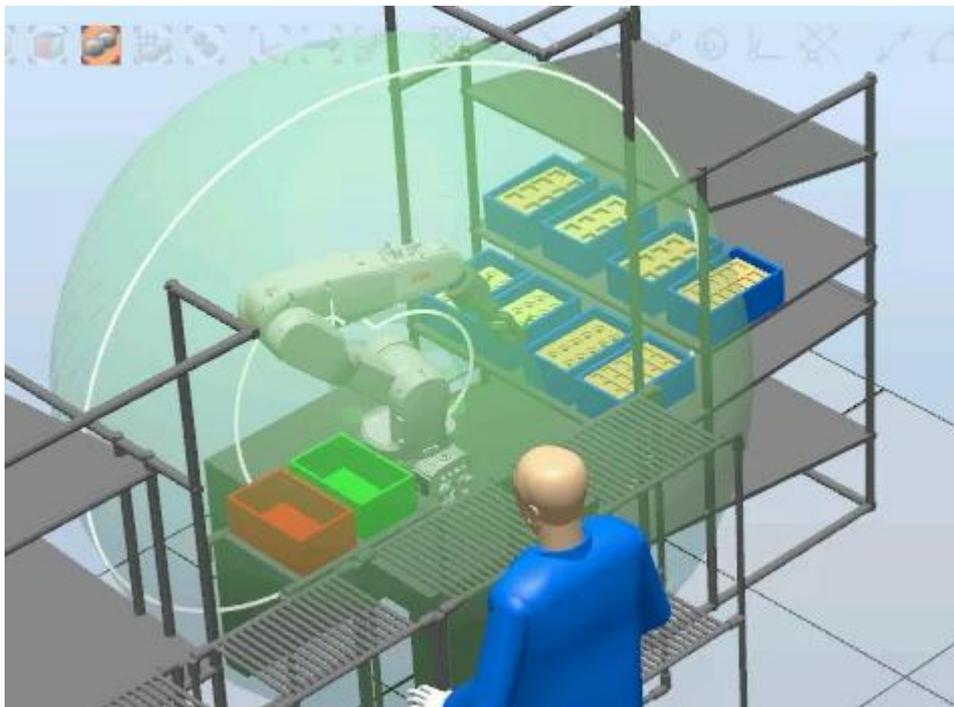


Figure 19 Enveloppe de travail ligne vérin

Mots clefs

Robotique – Production – Automatisation – Usinage – Interaction Homme Machine

Loïc Henriet – Clément Vacher - Marie PERROT

Rapport de TW53 – A20

Résumé

Dans le cadre de l'UV TW53 nous avons étudié l'implantation d'un robot sur les lignes d'assemblage de l'usine pilote. Nous avons produit différents livrables, simulation, vidéo et prototypes. Pour cela nous nous sommes familiarisés avec le logiciel RobotStudio qui nous a permis de simuler numériquement les points stratégiques de notre projet. Nous avons également conçu des pièces utiles à notre projet via le logiciel Catia.

Nous avons finalement produit une vidéo résumant notre travail et montrant le robot en action sur le poste de travail.