



Chargé de projet Robotique et Automatisme



Hamid HACENE
hamid.hacene@ensta-bretagne.fr

Table des matières

Remerciements	3
Résumé	3
Abstract	3
Introduction	4
1 Autour d'ACTEMIUM BREST	5
1.1 Le groupe VINCI	5
1.2 La branche VINCI ENERGIES	6
1.3 Le réseau ACTEMIUM	6
1.4 ACTEMIUM BREST	7
1.4.1 Présentation	7
1.4.2 Historique	7
1.4.3 Organisation	8
1.4.4 Domaines d'expertises	9
2 Contexte du stage	11
2.1 Industrie et robotique 4.0	11
2.2 Description de la mission et des objectifs associés	14
2.3 La période de la covid-19	15
3 Robotique collaborative	16
3.1 Description du projet	16
3.2 Solution proposée	16
3.3 POC	20
3.4 Résultats	22
4 Motion control	22
4.1 Aperçu	22
4.2 Formation à <i>Sysmac studio</i>	24
5 Robotique mobile	26
5.1 Description du projet	26
5.2 Solution proposée	27
5.2.1 Prototype	27
5.2.2 Première industrialisation	28

5.2.3	Déploiement d'une flotte	28
5.3	POC	29
5.4	Difficultés rencontrés et perspectives	31
Conclusion		32
A Évaluation du stage		34

Remerciements

Je souhaiterais exprimer mes remerciements à tout le personnel d'ACTEMIUM BREST et plus particulièrement à M.THOMAS NOBLET, le Chef d'Entreprise, qui a eu l'amabilité de m'accueillir comme stagiaire dans son entreprise.

Je remercie bien évidemment M.DAMIEN LE ROUX, mon tuteur de stage, pour son encadrement, sa patience et disponibilité pour répondre à mes nombreuses questions. Je tiens également à remercier sincèrement tous les collègues du Bureau d'Études Automatique, pour leur bienveillance et le temps accordé.

Finalement, je remercie M.LUC JAULIN et M.BENOÎT ZERR, mes professeurs de l'école et qui m'ont particulièrement aidé sur les aspects théoriques liés à mon stage.

Chacune de ces personnes a rendu mon stage passionnant et m'a permis de développer mes compétences. Je leur en suis particulièrement reconnaissant.

Résumé

La robotique collaborative s'inscrit dans la transformation digitale et le passage des entreprises vers l'industrie 4.0. Dans ce contexte, réfléchir à de nouvelles méthodes d'intégration de la robotique au sein des usines en remettant l'humain au centre de l'activité est primordial. Ce rapport de stage aborde les missions menées au sein d'ACTEMIUM BREST, une entreprise du groupe VINCI. Il revient sur les compétences acquises de quatre mois de travail dans d'un bureau d'études au sein d'une entreprise au service de l'industrie. Ce rapport explore des thématiques autour de la robotique collaborative, du motion control et de la robotique mobile. Ces trois domaines sont étroitement liés et forment une synthèse de ce à quoi pourrait ressembler l'usine de demain.

Abstract

Collaborative robotics is a key part of the digital transformation and the transition of companies towards industry 4.0. Within this context, it is crucial to think about new ways of integrating robotics in factories by bringing the human back to the heart of the activity. This internship report focuses on the missions carried out within ACTEMIUM BREST, a company of the VINCI group. It reviews the acquired skills from four months of work within an engineering office of a company dedicated to the industrial sector. It discusses topics related to collaborative robotics, motion control and mobile robotics. These three tightly linked disciplines form an overview of what tomorrow's factory could look like.

Introduction

Le stage de deuxième année à l'ENSTA BRETAGNE représente une étape fondamentale de la formation d'ingénieur. En immersion totale au sein d'une entreprise pendant une période de quatre mois, ce stage permet d'acquérir une expérience sur le long terme autour d'un projet d'entreprise, en contact des différents acteurs : ingénieurs, managers, techniciens et ouvriers.

Du 04 mai 2020 au 18 septembre 2020, j'ai effectué mon stage au sein d'ACTEMIUM BREST située au centre de la zone industrielle Kergaradec.

Le sujet de départ de ce stage s'articule autour de la robotique collaborative ou communément appelé *cobotique*. L'entreprise qui m'a accueilli a l'ambition de développer cette expertise en interne afin de construire une offre de prestation pour ses clients. Il s'agit donc de mettre en place les différentes briques de R&D qui serviront à développer des solutions commerciales.

Le but de ce rapport est de présenter les tâches réalisées durant le stage ainsi que leurs contextes. En premier lieu, une présentation de l'entreprise ainsi que le poste occupé seront traités dans le but de poser un contexte clair. Par la suite, les missions menées pendant cette période seront présentées plus en détail.

1 Autour d'Actemium Brest

ACTEMIUM est une marque d'un réseau international dédié à l'industrie et créée par VINCI ENERGIES. L'entreprise a pour but de concevoir, réaliser et maintenir des procédés industriels. Cette marque fonctionne en réseau et est répartie dans le monde entier.

1.1 Le groupe VINCI

ACTEMIUM fait partie du groupe VINCI qui compte 222 397 collaborateurs répartis dans plus de 100 pays et qui réalise un chiffre d'affaires de plus de 40 milliards d'euros. Avec près de 2200 entreprises, le groupe VINCI intervient dans un vaste panel d'activités réparties dans deux pôles de plusieurs sous-groupes chacun.

- **VINCI Concessions** : premier opérateur européen de concessions d'infrastructures de transport. Il exerce son activité dans les domaines des autoroutes, des aéroports, des ouvrages de franchissement, du ferroviaire et des stades ;
- **VINCI Contracting** : réunit, au sein de 3 100 entités, un très grand ensemble d'expertises dans les métiers des énergies et des technologies de l'information, des travaux routiers et ferroviaires, du bâtiment et des travaux publics. Les 192 315 collaborateurs interviennent dans une centaine de pays et sur 270 000 chantiers par an.



FIGURE 1 – Les branches du groupe VINCI

1.2 La branche VINCI ENERGIES

La branche VINCI ENERGIES rassemble près de 1500 entreprises. Il s'agit d'un acteur européen majeur et d'un leader français dans les secteurs des technologies de l'information et des énergies. L'activité de la branche se répartit autour de 4 domaines d'activités :

- **Infrastructures** : CITEOS (éclairage public et équipements urbains dynamiques) et OMEXOM (construction de réseaux électriques de haute et très haute tension) ;
- **Industrie** : ACTEMIUM (développement et modernisation des équipements pour l'industrie et l'optimisation des outils de production) ;
- **Tertiaire** : VINCI FACILITES (services liés aux bâtiments et à leurs occupants, tels que la performance) énergétique et la gestion documentaire.
- **ICT** : AXIANS (communication et systèmes d'information).

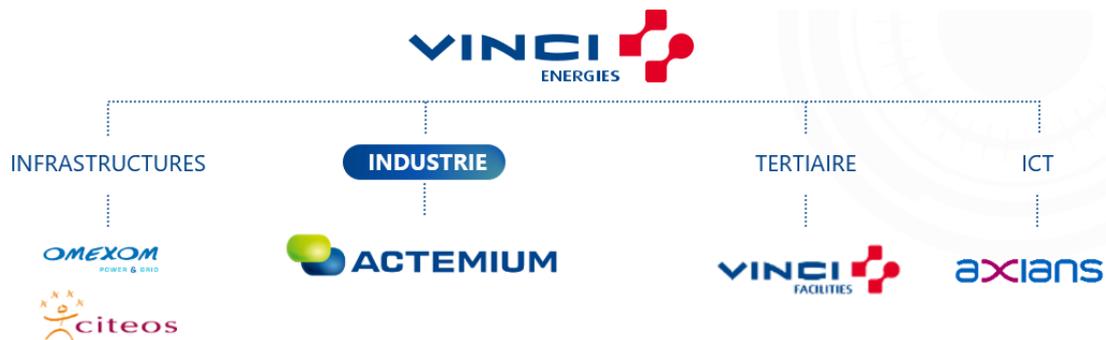


FIGURE 2 – La branche VINCI ENERGIES

1.3 Le réseau Actemium

ACTEMIUM est la marque de VINCI ENERGIES dédiée à l'industrie. Forte de 20.000 collaborateurs, son chiffre d'affaires annuel dépasse les 2 milliards d'euros. La vocation d'ACTEMIUM est d'améliorer l'avantage compétitif et la performance industrielle de ses clients. La marque regroupe 400 entreprises réparties dans 41 pays, entièrement dédiées au développement et à la modernisation des processus industriels.



FIGURE 3 – Un réseau mondial

1.4 Actemium Brest

1.4.1 Présentation

ACTEMIUM BREST est un intégrateur de services d'électricité, d'automatisme, d'informatique industrielle et de robotique. L'expérience acquise depuis 60 ans à Brest permet de proposer des solutions clés en main dans des secteurs variés tels que la production d'énergie, les infrastructures portuaires et militaires, les industries agroalimentaires mais aussi les banques et le service public.

ACTEMIUM BREST se démarque par sa forte orientation client et sa forte valeur ajoutée en proposant une prestation de service qui répond à la demande client dans son intégralité : du simple dépannage à la mise en place de nouvelles installations, tout en réalisant le suivi des anciens projets avec un service après-vente performant. Cela nécessite parfois l'intervention d'autres acteurs avec d'autres corps de métier, c'est pour cela qu'ACTEMIUM fait appel à des sous-traitants qui sont souvent des sociétés du réseau VINCI. Le groupe apporte une force de frappe plus importante.

1.4.2 Historique

Avant de s'appeler ACTEMIUM, l'entreprise s'appelait GTIE SYNERTEC qui est la dénomination sociale ou raison sociale de l'entreprise. Les racines historiques de GTIE remontent à 1817. A cette époque, la maison Chabrié et Jean, spécialisée en couverture, plomberie, chaufferie et éclairage, obtient son premier contrat pour l'éclairage aux chandelles du Palais Bourbon. En 1896, Albert Bouchon, ingénieur des Arts et Manufactures, reprend les parts de Chabrié et apporte dans l'affaire l'activité d'installation électrique. L'entreprise prend le nom de Jean et Bouchon. A la même époque Louis Mors, inventeur et passionné d'automobile, fonde la société anonyme d'Electricité et d'Automobile Mors, et construit un atelier de montage

quai de Javel, à Paris, où débute quelques années plus tard André Citroën.



FIGURE 4 – Le logo de GTIE SYNERTEC

En 1923, ce dernier rachète l'activité automobile, tandis que la société d'électricité Mors se consacre désormais à l'installation électrique mais aussi aux activités de signalisation ferroviaire, de calculateurs et d'électroménager. De son côté, le fils du fondateur Jean cède ses parts à Albert Bouchon. La société Jean et Bouchon développe notamment son activité d'éclairage et d'illuminations, en 1937, elle installe les fontaines lumineuses de l'Exposition internationale de Paris.

Dans les années 50 et 60, elle crée également une activité industrielle, et ouvre plusieurs agences en province. La Société d'Electricité Mors, désormais détenue par la Continentale d'Entreprises, filiale du suisse Electro Watt, se développe elle aussi en régions et crée des agences à Amiens, Boulogne-sur-Mer, Rouen et Brest.

En 1964, la Continentale d'Entreprises achète Jean et Bouchon et fusionne avec le département entreprise d'installations de Mors pour créer « Mors, Jean et Bouchon ». En 1970, la Continentale d'Entreprises et la Compagnie Générale des Eaux constituent la holding UEER, qui regroupe MJB, Fournié-Grospaud et Garczynski-Traploir.

En 1984, après la mise en vente des actions détenues par la Continentale d'Entreprises dans la holding, l'UEER et MJB fusionnent pour créer GTIE (Compagnie Générale de Travaux et d'Installations électriques). GTIE joue désormais un double rôle : celui de société mère du groupe et celui d'exploitation. En 1998, après la réorganisation du groupe GTIE, les agences GTIE sont filialisées. En 2000, les entreprises du Groupe GTIE sont regroupées sous la branche VINCI ENERGIES de VINCI. Puis depuis 2007, GTIE SYNERTEC adopte l'appellation commerciale du groupe VINCI, ACTEMIUM.

1.4.3 Organisation

L'organisation de l'entreprise est construite autour des Responsables d'Affaires qui sont associés à un secteur d'activités qui leur est propre. Le Responsable d'Affaires s'occupe à la fois de la stratégie technique, financière et commerciale de chaque

projet. Il répond aux appels d'offres des clients et s'occupe également de la partie prospection active et passive. Il est aussi le moteur de l'organisation des projets puisqu'il réalise la gestion des plannings, la répartition des charges de travail et le management de l'équipe qui travaille sur le projet.

-  **59 salariés :**
 - + 20 Monteurs
 - + 17 Techniciens
 - + 10 Automaticiens
 - + 4 Responsables d'affaires
 - + 5 Administratifs
 - + 1 Chef d'entreprise
 - + 2 Animateur QSE
-  **1 bureau d'études**
-  **1 atelier de câblage/montage et magasin**
-  **1 local sécurisé**



FIGURE 5 – Organisation d'ACTEMIUM BREST

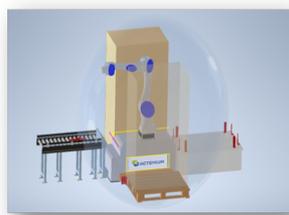
1.4.4 Domaines d'expertises

Actemium Brest intervient sur les secteurs d'activité suivants :

- **Génie électrique - Courant fort/Courant faible** : fabrication d'armoires et coffrets de contrôle-commande, conduite de chantiers (câblage, raccordements, etc.), équipement de shelters ;
- **Génie mécanique** : réalisation de machines sur-mesure, études CAO, implantation de cellules robotisées, modification de cinématiques, mise en conformité d'installation ;
- **Robotique & Automatismes** : programmation d'automates, motion control, robotique industrielle et mobile, programmation relais/automates de sécurité, programmation vision, programmation de supervisions, levées d'obsolescences.



(a) Génie électrique



(b) Conception mécanique



(c) Robotique

FIGURE 6 – Expertises d'ACTEMIUM BREST



FIGURE 7 – Références clients d'ACTEMIUM BREST



FIGURE 8 – Secteurs d'activité d'ACTEMIUM BREST

2 Contexte du stage

2.1 Industrie et robotique 4.0

Appelée aussi “industrie du futur”, l’industrie 4.0 allie objets réels et technologies numériques pour aboutir à des produits plus performants, grâce à une activité optimisée. Pour ce faire, elle fait appel aux robots, à l’impression 3D, à la réalité augmentée et à l’intelligence artificielle.

Les différents systèmes de cette usine connectée communiquent entre eux afin de permettre une production plus sûre et plus flexible. De même, les différentes usines communiquent également entre elles dans le but de croître la productivité.

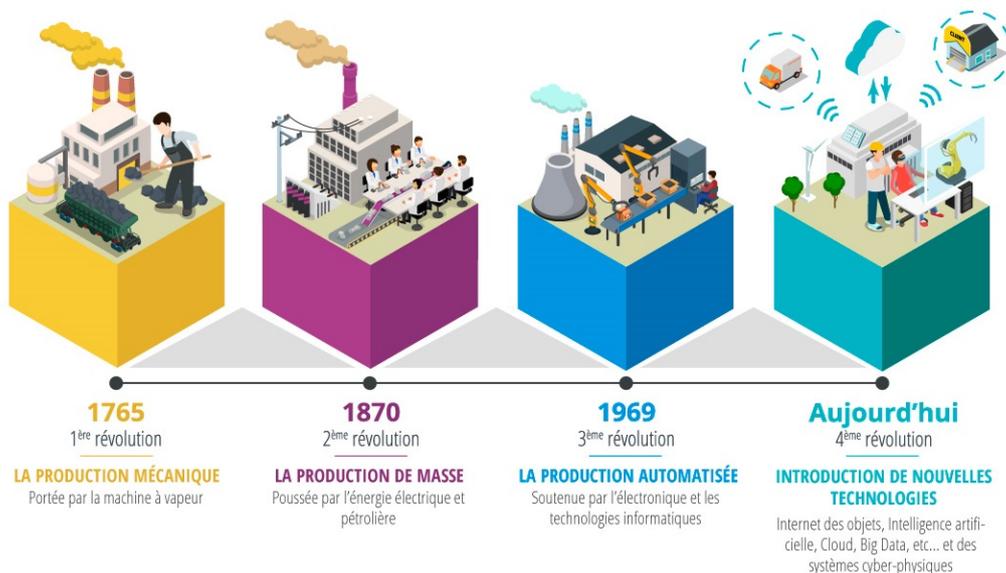


FIGURE 9 – Les révolutions industrielles

Le principe est donc de réduire la consommation d'énergie ainsi que les coûts de la main d'œuvre, tout en augmentant l'efficacité des processus industriels. Pour le consommateur, cela se traduit généralement par des produits personnalisés, moins onéreux, et qui correspondent à ses besoins. Lors de la réalisation de son produit, il a en effet la possibilité de communiquer directement avec les machines. Il s'agit du concept de "Smart Product"¹.

Cette nouvelle façon de penser la production a un réel impact substantiel sur la chaîne de valeur industrielle avec à la clef une flexibilisation des opérations, une amélioration de la qualité et des gains de compétitivité. L'arrivée à maturité des

1. exemple développé par la société Hapticmedia : <https://www.youtube.com/watch?v=hWOHVql7MwY>, <https://www.youtube.com/watch?v=xuW5pNrKk4>

nouvelles technologies et la réduction des coûts d'acquisition a fortement accéléré la transformation.

L'Industrie 4.0 implique le déploiement de nouveaux modèles d'organisations afin d'aider les entreprises à gagner en performance et en compétitivité. Les impacts sur l'organisation du travail, sur la gestion des compétences et des métiers, sur le management et les modes de relations au travail sont très significatifs :

- **Les processus de fabrication** sont simulés dès la phase de conception du produit, tout comme les actes techniques de production et de maintenance à réaliser par les opérateurs. En conséquence, l'ergonomie est améliorée, soit par transfert des actes difficiles sur des robots, soit par modification de l'environnement de travail.
- **Les opérateurs** sont équipés d'objets connectés (tablettes ou des lunettes). Ces objets facilitent par exemple les opérations de maintenance et le contrôle qualité. Le métier d'opérateur comporte ainsi de plus en plus de pilotage et de contrôle, et de moins en moins de travail manuel.
- Le rôle du **management** est renforcé. La prise de décision est décentralisée sur la ligne de production et les outils d'aide au pilotage se développent.
- **La coexistence** entre les hommes et les machines au sein de l'usine impacte les comportements. Dans un environnement où les robots et les systèmes sont de plus en plus présents, le défi est de trouver le bon équilibre entre les deux acteurs. La robotique collaborative intervient sur cet aspect.

Mettre l'humain au cœur de l'usine, c'est repenser sa place dans un environnement recelant des conditions de fonctionnement qui peuvent lui être hostile. Il n'existe pas un secteur industriel qui ne traite des composants toxiques ou qui ne manipule des objets dont la perte de contrôle peut aboutir à un accident. Et nombre de machines de production comportent des pièces et des parties mouvantes qui ne peuvent fonctionner qu'à l'abri de barrières ou de carters de protection destinés à garantir la sécurité des opérateurs.

Les robots n'échappent pas à cette règle. Outre le fait qu'ils transportent des charges lourdes qui peuvent présenter des angles vifs ou des parties coupantes, leurs déplacements s'effectuent à des vitesses dangereuses pour l'homme en cas de chocs. Or, c'est précisément la célérité et la répétitivité avec lesquelles ils sont capables d'accomplir les tâches qui les rendent compétitifs dans l'industrie. Ces robots traditionnels ne peuvent donc exister qu'à l'intérieur de cellules sécurisées par des barrières qui confinent les robots dans des îlots inaccessibles à l'homme pendant les phases de travail.

Si les robots sont capables d'être à la fois rapides, précis et infatigables, il leur manque les sens et le discernement. L'humain, quant à lui, est capable de faire

preuve de créativité et d'inventivité, il peut s'adapter à une multitude de situations inédites.

Dans une industrie où le seul objectif a été de produire en volumes toujours plus importants, plus vite et à des coûts toujours plus faibles, la répétabilité a été le principal moteur du remplacement des ouvriers par les machines. L'Industrie 4.0 a une autre approche radicalement différente : ayant intégré les gains de productivité promis par l'automatisation et la robotique, les entreprises se tournent désormais vers une spécialisation et une personnalisation des produits qui vont entraîner la multiplication de lots de fabrication. Il est désormais primordial d'anticiper les modifications que cela nécessite dans les processus, de renforcer le suivi des produits tout en ayant la capacité de réaliser des opérations spécifiques sur quelques dizaines ou même, un seul produit. Ce sont alors les capacités de discernement et les facultés de jugement de l'opérateur humain qui apportent un véritable avantage sur les plans de productivité et de conformité.

Dans ce contexte est né le robot collaboratif ou "cobot", un robot plus petit, adaptable, polyvalent et économique. Ce type de robot est conçu pour collaborer avec l'humain. Il est positionné à proximité de l'opérateur qui déclenche manuellement une séquence ou intervient directement dans la programmation d'une tâche. Associé à d'autres outils, la robotique collaborative permet de redonner de l'agilité à l'appareil de production et une plus grande flexibilité dans l'organisation des groupes de travail. Dans cette nouvelle disposition, le robot remplit alors un rôle d'assistant pour l'opérateur.

Dans la logique de l'Industrie 4.0, la robotique collaborative permet aux entreprises de s'ouvrir à de nouveaux marchés.



FIGURE 10 – Robot collaboratif de la marque OMRON

2.2 Description de la mission et des objectifs associés

ACTEMIUM BREST propose des prestations dans le domaine de la robotique industrielle. Pour se diversifier et s'ouvrir à de nouveaux clients, elle souhaite développer davantage son expertise dans le cadre de la robotique collaborative.

Le Pick&Place pour de la palettisation est l'une des applications les plus répandues pour des robots collaboratifs. Il s'agit de la prise d'un objet à un endroit fixe ou en mouvement (sur un convoyeur par exemple) et de le déposer ensuite à un autre endroit. Des plans de rangement peuvent être aussi considérés.

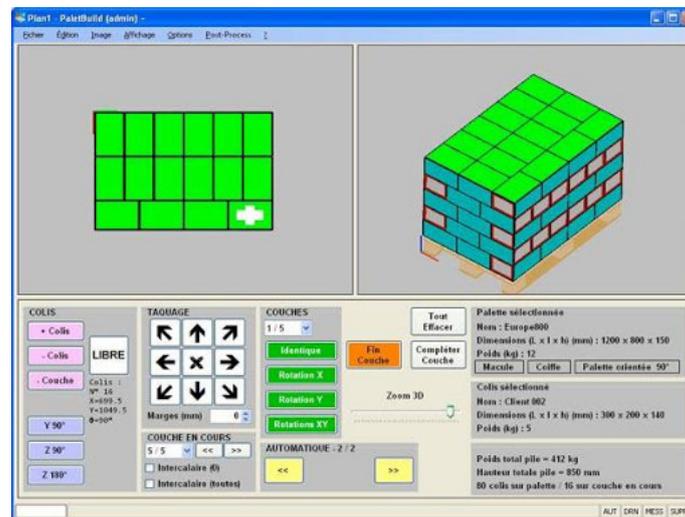


FIGURE 11 – Exemple d'interface de palettisation

Le but du stage était ainsi d'étudier et concevoir un modèle de programme standard permettant de couvrir un spectre d'applications "pick and place" pour de la palettisation. Il s'agit de mettre en place des briques logicielles abstraites qui ne dépendent pas des spécificités de l'application finale (dimension des objets, dimensions du robot, etc.), ni du robot utilisé.

Les objectifs principaux de cette démarche sont les suivant :

- Réduire le temps de développement ;
- Réduire les coûts et les délais ;
- Homogénéiser les méthodes de programmation.

La phase de prise en main du sujet ainsi que de la programmation d'un robot est réalisé sous **RoboGuide**. Ce logiciel est développé par la société japonaise **FANUC**. Il permet la simulation, la programmation et la configuration d'une large gamme de robots : industrielles, collaboratifs, deltas, etc.

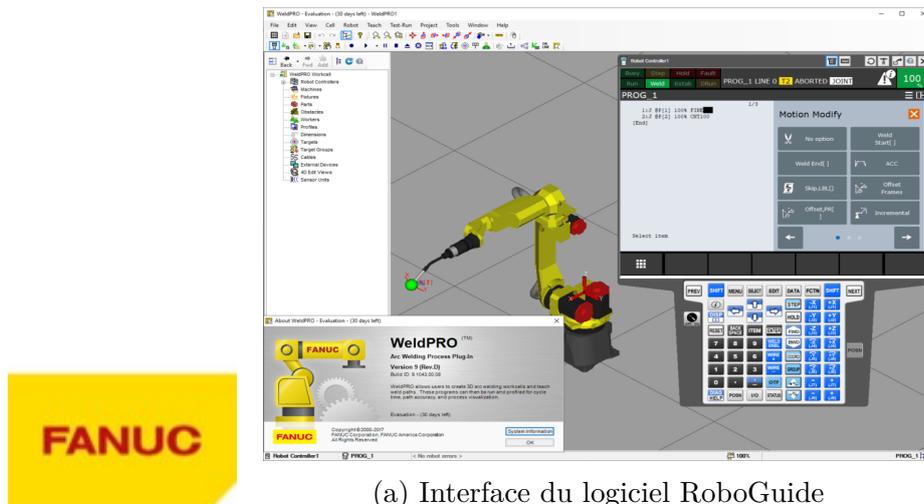


FIGURE 12 – Environnement de travail

2.3 La période de la covid-19

La pandémie de la covid-19 a eu un fort impact sur les entreprises industrielles. De la baisse d'activité aux difficultés d'organiser le travail dans un contexte inédit, les entreprises ont dû s'adapter pour traverser cette crise tout en minimisant ses effets sur la santé de l'entreprise et des collaborateurs. Dans ce contexte inédit, mon stage a tout naturellement évolué.

J'ai eu ainsi la chance de travailler sur le sujet initialement prévu, à savoir la cobotique, mais également de sortir de ma zone de confort en découvrant de nouvelles disciplines : le *motion control*, l'automatisme et l'électrotechnique, avant de travailler sur des sujets en lien avec la robotique mobile.

En cette période inédite, j'ai eu également le privilège de participer à un projet transverse dans l'entreprise. ACTEMIUM BREST, sous l'impulsion de sa direction, souhaite mettre en place une stratégie de digitalisation de ses processus internes. Dans ce cadre, j'ai contribué à trouver une *short list* pour des outils de gestion de projets.

La suite de ce rapport, segmenté en trois parties, abordera les trois différents sujets traités pendant ce stage : la robotique collaborative, le motion control et enfin la robotique mobile en milieu agricole.

3 Robotique collaborative

3.1 Description du projet

Suite à la crise de la covid-19, plusieurs entreprises travaillant dans le domaine de la cosmétique se sont tournées vers la fabrication de solutions hydroalcooliques. D'un côté, ceci leur permet de réduire l'impact financier de la crise, et d'un autre côté, participer à l'effort national.

Dans ce contexte, une entreprise² a souhaité étudier la transformation d'une de ses lignes de production afin de répondre à un besoin ponctuel. Cette entreprise a répondu à un appel d'offres pour fournir des kits de décontamination. Ces kits seront constitués d'un masque chirurgical et de deux petits sachets de gel hydroalcoolique. Le tout sera mis dans des sachets individuels pour une utilisation unique. L'ensacheuse (fig.b), permet de réaliser cette dernière opération.

La problématique est donc de trouver un moyen d'acheminer les différents éléments (masque et deux sachets de gel) vers le col de cygne (fig.a) qui sert d'entrée pour l'ensacheuse. Cette dernière est équipée d'un automate SIEMENS qui permet de gérer tout le processus de l'ensachage.



(a) Col de cygne



(b) Ligne de production avec ensacheuse

FIGURE 13 – Description de la machine existante

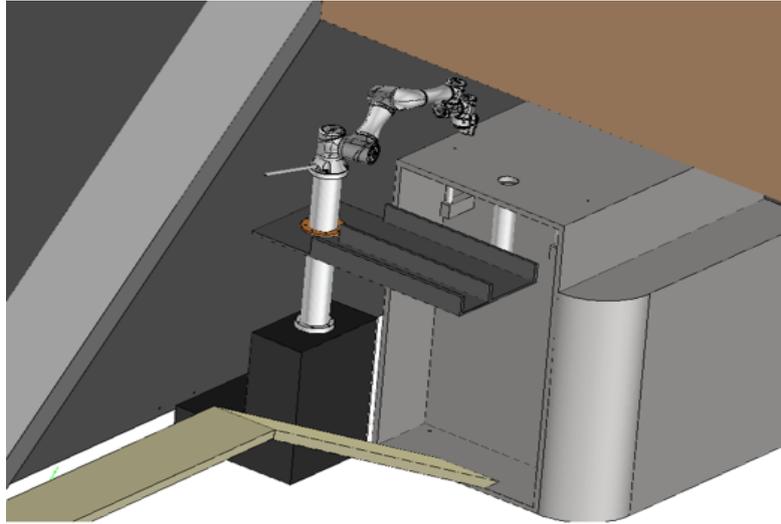
3.2 Solution proposée

Compte tenu des éléments à disposition et au vu de l'industrie 4.0 et du besoin très ponctuel de l'entreprise, la solution proposée consiste en l'utilisation d'un robot

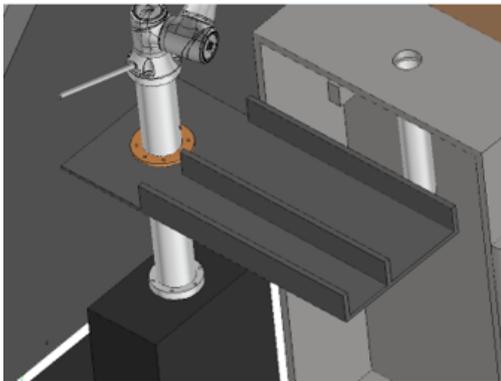
2. Son nom sera gardé anonyme pour des raisons de confidentialité.

collaboratif.

Après une implémentation 3D de l'environnement (fig.a) de la machine sous INVENTOR, le choix du robot avec les bonnes caractéristiques techniques a été effectué. Il s'agit du cobot OMRON TM5-900 (fig.c).



(a) Implémentation 3D de l'installation



(b) Zonde de prise des éléments



(c) Robot OMRON TM5-900

FIGURE 14 – Implémentation 3D de la solution

Ce robot nous permet d'optimiser la durée du cycle et d'atteindre la cadence souhaitée par le client (6 coups par minute : à savoir 6 kits par minute). Il est équipé d'une caméra qui peut détecter les sachets de gel hydroalcoolique sur la table de préhension. Lors d'un cycle de fonctionnement, le cobot, après avoir détecté les sachets, vient les saisir avec un préhenseur équipé de deux ventouses pneumatiques. Ensuite, il se positionne au-dessus de la boîte de stockage des masques chirurgicaux, et grâce à un capteur laser (fig.15), il calcule la distance de descente qui

lui permettrait de saisir un masque avec une pince électrique montée sur le même préhenseur. Il se positionne ensuite au-dessus du col de cygne afin de tout relâcher à l'intérieur. Un capteur laser monté sur le col de cygne détectera la fin du cycle et peut ainsi envoyer un signal à l'automate pour demander à l'ensacheuse de procéder à la fermeture du sachet avec le kit de décontamination.

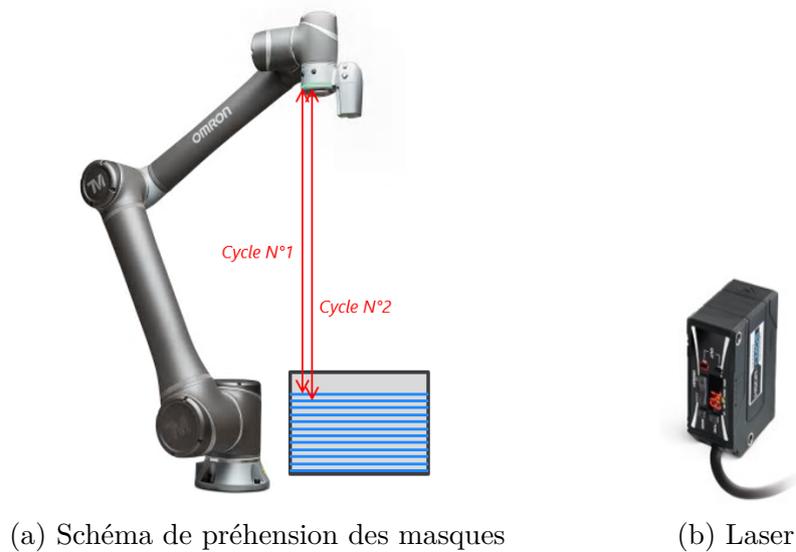


FIGURE 15 – Méthode de préhension des masques

Le préhenseur, sera quant à lui de la forme présentée à la figure 16. Cette configuration permet d'optimiser le temps de cycle et ainsi atteindre la cadence exigée par le client.

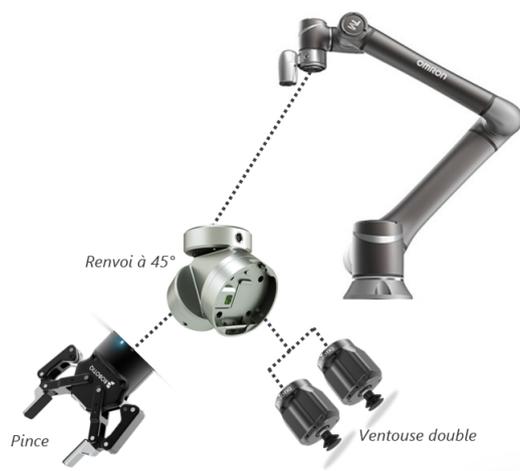


FIGURE 16 – Préhenseur

Lorsqu'on intervient pour mettre en place une solution robotisée, il faut mettre la sécurité au cœur de toutes les démarches. Pour des robots industrielles classiques, les normes de sécurité exigent d'enfermer le robot dans un carter et de mettre en place des capteurs de sécurité qui arrêtent la machine en cas de franchissement des barrières.

En robotique collaborative, la problématique est plus complexe : le cobot, par définition, partage le même espace de travail que l'humain. Il faut donc trouver de nouvelles solutions pour sécuriser les environnements de travail. Même si les robots collaboratifs sont équipés de systèmes de contrôles internes (contrôle du courant des différents axes) qui leurs permettent de s'arrêter en cas de contact avec un opérateur (ou obstacle), il est préférable de définir différentes zones de travail. Généralement, on définit trois zones :

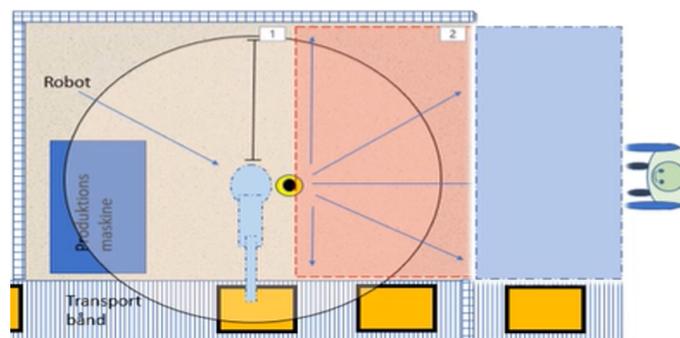


FIGURE 17 – Les différentes zones de sécurité

- Une zone dans laquelle l'opérateur ne risque rien : le robot peut travailler à 100% de ses performances ;
- Une deuxième zone dans laquelle l'opérateur risque d'être en contact indirect avec le robot : ici, on choisit volontairement de détériorer les performances du robot (60% de ses performances maximales). Il s'agit avant tout d'éviter de blesser l'opérateur avec des projectiles par exemple ;
- Une zone rouge où le robot doit s'arrêter si un humain rentre dans cet espace. Le risque devient trop important.

Ainsi, pour répondre à ce besoin de sécurité, notre solution comprend un scrutateur laser programmable de sécurité. Ce dernier permet de définir les zones décrites précédemment.

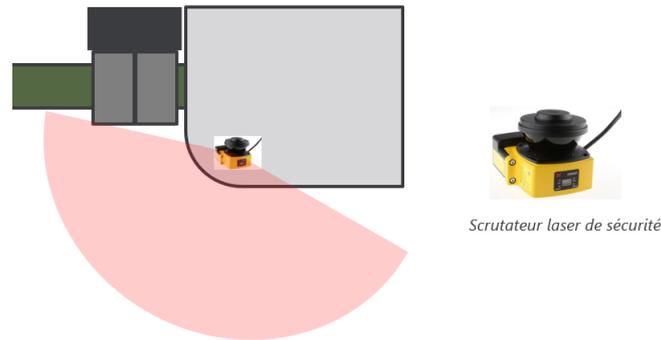


FIGURE 18 – Mise en place de la sécurité machine

3.3 POC

Pour mettre en œuvre la solution proposée devant le client, nous avons décidé de mettre en place une plateforme (fig.19) afin de faire une présentation de la faisabilité du concept au client. Pour cela, en collaboration avec l'entreprise TECHMAN qui commercialise le robot en France, nous avons obtenu en prêt le robot TM5-700 (la seule différence avec le TM5-900 réside dans le champ d'action : 900mm contre 700mm).

Après une formation accélérée dispensée par les ingénieurs de TECHMAN, nous avons pris en main le logiciel qui permet de contrôler et programmer le robot. Nous avons ensuite travaillé pour peaufiner la solution proposée à notre client.



FIGURE 19 – Plateforme de travail

Le cycle de fonctionnement décrit à la section précédente a été mis en œuvre. Afin de simuler le capteur laser qui calcule la distance de descente du robot pour prendre les masques chirurgicaux, nous avons utilisé un générateur analogique. Le signal envoyé au robot est augmenté d'une façon empirique à chaque cycle.

Le capteur laser installé à l'intérieur du col de cygne détecte quant à lui la fin d'un cycle. Ce dernier doit envoyer un signal à l'automate de l'ensacheuse. Afin de mettre en évidence ce fonctionnement, nous avons ajouté un voyant qui s'allume à chaque fin de cycle.



(a) Voyant

(b) Capteur laser

(c) Générateur analogique

FIGURE 20 – Matériel utilisé pour le POC

Le logiciel utilisé pour programmer le robot collaboratif est facile à prendre en main. Pour des fonctionnalités plus poussées, comme la vision par exemple, il faut avoir quelques connaissances en traitement d'images afin d'obtenir les meilleurs résultats.

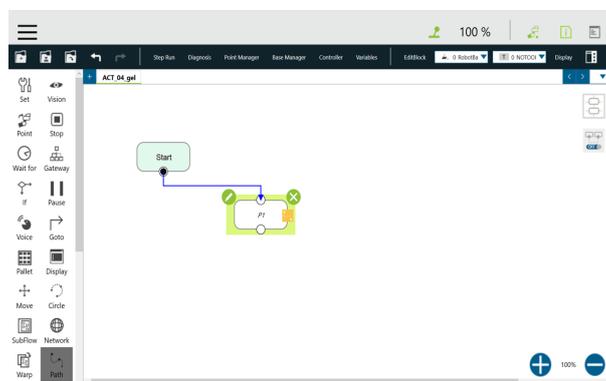


FIGURE 21 – TMFlow : logiciel de programmation du cobot

3.4 Résultats

Grâce à la plateforme robotique ainsi qu'aux différents éléments matériels, nous avons réussi à atteindre une cadence de 5 cycles par minute. Ce résultat est satisfaisant sachant que le préhenseur utilisé pour le POC n'est pas adapté à l'usage que nous souhaiterions en faire. La partie la plus gourmande en temps d'exécution est la reconnaissance d'images afin de détecter les sachets de gel hydroalcoolique.

Pour prouver au client que notre solution est *scalable*, une autre démonstration lui a été proposée. Cette fois-ci, il s'agit de remplir des cartons de bouteilles de gel hydroalcoolique suivant un plan de palettisation. Les robots collaboratifs se programment rapidement et peuvent s'adapter à différents usages : un opérateur peut facilement lancer un programme pré-enregistré.



FIGURE 22 – POC palettisation de bouteilles de gel

4 Motion control

4.1 Aperçu

Le motion control est un sous-domaine de l'automatisme, dans lequel la position ou la vitesse des machines sont contrôlées à l'aide d'un dispositif comme une pompe hydraulique, un actionneur linéaire ou un moteur électrique. Les applications de "motion control" comportent en général plusieurs axes qui doivent être synchronisés. Il est possible de réaliser des applications très complexes. Il est largement utilisé dans les industries de l'emballage, de l'impression, du textile et de l'assemblage. Les mouvements à effectuer, le plus souvent, sont des déplacements linéaires. Les asservissements portent le plus souvent sur la vitesse de déplacement ou le positionnement, mais ils peuvent aussi porter sur le couple.

Les solutions actuelles de motion control sont un mélange de composants électroniques et mécaniques. Les principaux composants qui constituent une unité de

motion control sont restés essentiellement les mêmes au fil des années, bien qu'ils soient devenus plus petits et plus intelligents. Ces composants comprennent :

- **Contrôleur** : contient les profils de mouvement et les positions souhaités pour l'application et soumet les commandes de position au moteur. Le motion control est souvent un système de contrôle en boucle fermée, qui suit la trajectoire réelle et corrige la position ou la vitesse selon les besoins. En ce qui concerne les contrôleurs de motion industrielle, il existe deux catégories principales : un contrôleur motion dédié et autonome ou un système basé sur les capacités des PLC ;
- **Variateur** : convertit un courant/une tension de faible puissance appliquée aux enroulements des servomoteurs pour produire un couple. Le variateur amplifie le signal à faible énergie du contrôleur en un signal à haute énergie que le moteur peut comprendre. Les variateurs sont étroitement liés au moteur et il existe de nombreux types d'entraînements, notamment les variateurs de fréquence, les moteurs pas à pas et les servo-variateurs analogiques et numériques ;
- **Moteurs** : prennent les signaux électriques du variateur et les convertissent en mouvement. Il existe de nombreux types différents de moteurs (servomoteur, etc.) ;
- **Capteurs** : fournissent la position du moteur. Il existe de nombreux types de capteurs, notamment des potentiomètres, des tachymètres, des codeurs incrémentaux et des codeurs absolus.



FIGURE 23 – Vue d'ensemble du motion control

4.2 Formation à *Sysmac studio*

Durant ce stage, j'ai eu l'occasion de suivre une formation sur quelques concepts du motion control. Une plateforme *Sysmac* de la société OMRON (fig.24) nous a été prêtée pour suivre cette formation. Cette dernière reprend les composants principaux pour réaliser des démonstrations de motion control. L'architecture matérielle de la plateforme est détaillée dans la figure 25 :



FIGURE 24 – Plateforme *Sysmac* OMRON

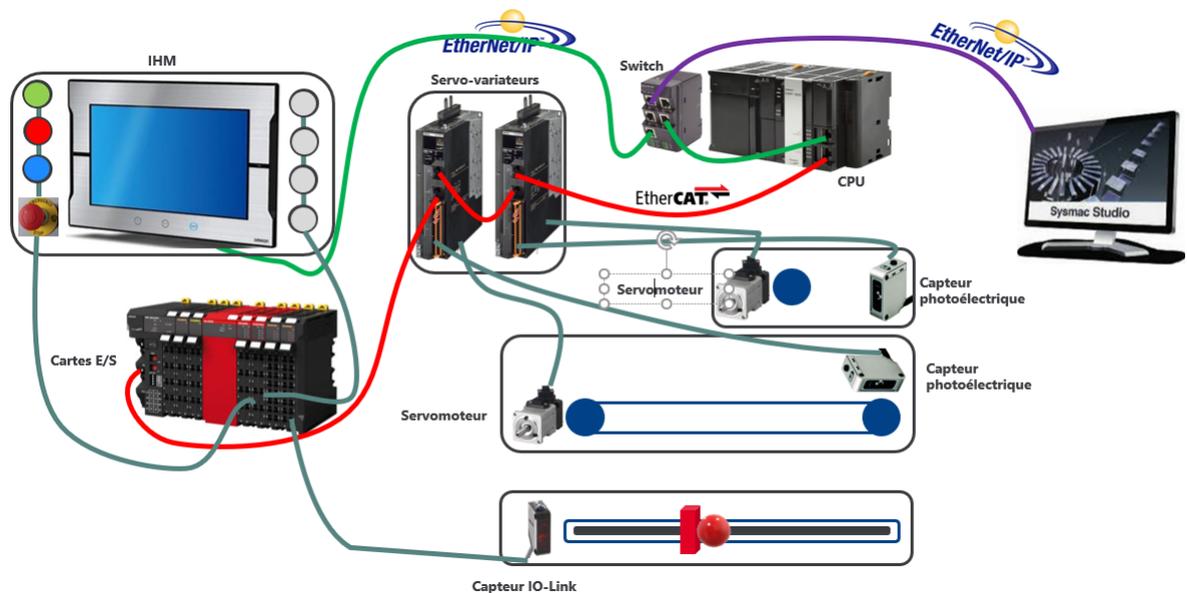


FIGURE 25 – Architecture matérielle de la plateforme

Le logiciel qui permet de paramétrer et de programmer la plateforme s'appelle *Sysmac Studio*. Il offre la possibilité de :

- Configurer et contrôler des axes ;
- Programmer des séquences logiques ;
- Mener des tests en simulation ;
- Conduire des tests en temps réels avec la visualisation de l'état des différentes variables ;
- Programmer des IHMs ;
- Intégrer et paramétrer la partie Safety ;
- Etc.

L'interface du logiciel se présente sous la forme suivante :

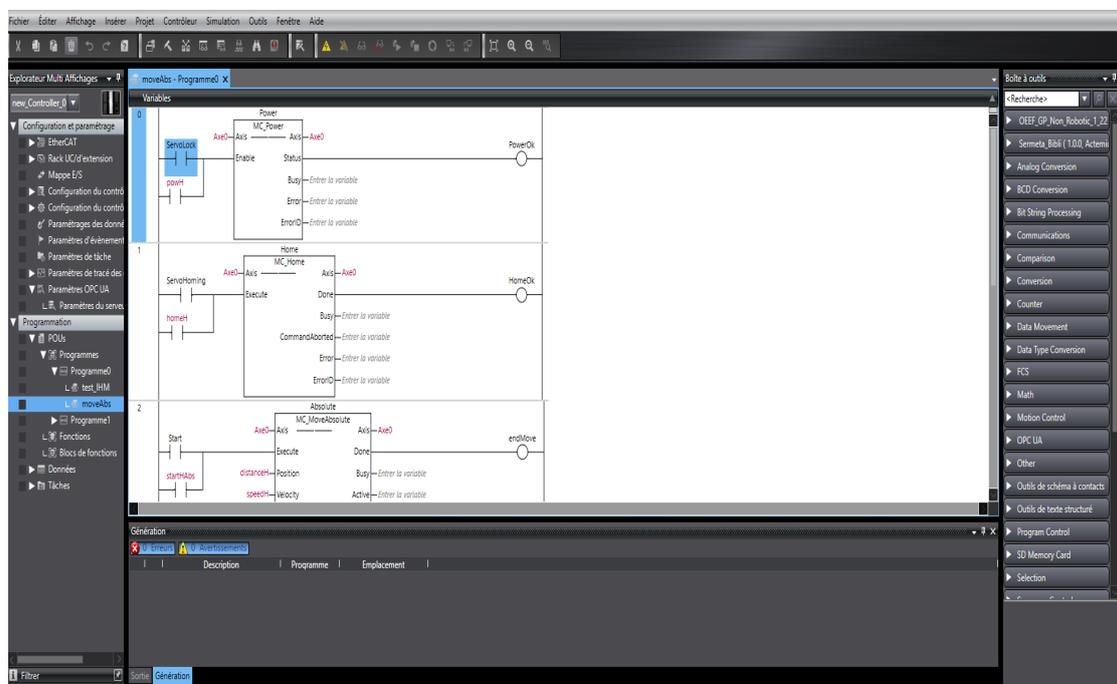


FIGURE 26 – Interface de Sysmac Studio

L'objectif de cette formation était de rédiger un manuel d'utilisation et un guide de prise en main pour faire du motion control. Le document a été transmis au Bureau d'études. Il est utilisé pour s'auto-former sur les technologies OMRON en terme de motion control.

5 Robotique mobile

5.1 Description du projet

Le développement exponentiel de la robotique mobile autonome suscite l'intérêt de plusieurs entreprises qui souhaitent lancer leurs propres véhicules autonomes. Le milieu de l'agriculture est un milieu complexe et rude, dans lequel l'agriculteur est souvent soumis à des tâches répétitives et ardues.

Les équipementiers agricoles travaillent sans cesse dans le but d'améliorer les conditions de travail des agriculteurs. Ces améliorations ont un effet positif sur toute la filière : de la santé des opérateurs à la santé des animaux, en passant par une augmentation de la production et de sa qualité.

Dans ce contexte, une pré-étude nous a été confiée afin de déterminer la faisabilité d'un projet de robotique mobile en milieu agricole.

Le besoin du client se résume à rendre son véhicule autonome (il s'agit d'une mélangeuse automotrice). Ce véhicule opère dans une ferme et a pour mission de préparer des mélanges de différents aliments afin de les acheminer vers les vaches dans l'étable. Le client souhaite une solution évolutive lui permettant une implémentation rapide sur d'autres véhicules de la marque (hormis le prototype).



FIGURE 27 – Mélangeuse automotrice

5.2 Solution proposée

La solution proposée s'articule autour d'une méthodologie à trois phases :

- **Prototype** : conception d'un prototype fonctionnel répondant à la partie centrale du projet : navigation autonome indoor et outdoor en sécurité.
- **Première industrialisation** : mise en oeuvre de la certification du prototype pour évoluer vers un produit industriel.
- **Déploiement d'une flotte** : évolution finale en intégrant une industrialisation d'une flotte de plusieurs véhicules.

5.2.1 Prototype

L'objectif principal du prototype est de valider les concepts de navigation et de localisation qui seront installés sur le véhicule. Il s'agit également de valider l'architecture de tous les composants matériels tout en travaillant sur l'intégration des parties software et hardware. Pour le client, un interfaçage avec le matériel déjà implémenté sur ses mélangeuses est primordial. Le but du projet n'est pas de construire de zéro un nouveau véhicule.

Pour cette étape, la mission suivante pour le véhicule a été retenue : aller d'une manière autonome d'un point A à un point B, en évitant des obstacles et en toute sécurité. Il faut donc naviguer d'une manière autonome dans deux environnements : indoor et outdoor.

Les étapes principales pour la conception du prototype sont les suivantes :

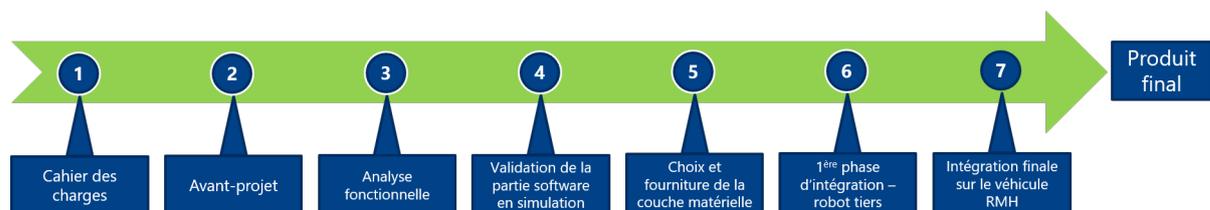


FIGURE 28 – Les phases de conception du prototype

Pour des raisons de confidentialités, ce rapport ne détaille pas les différentes phases ainsi que la partie budgétaire associée. Ce découpage permet de partitionner le projet en plusieurs jalons et ainsi de valider chaque étape avant de passer à la suivante.

L'architecture matérielle proposée au client est représentée figure... Cette dernière comprend les éléments "haut niveau" qui permettront de localiser le robot ainsi que de mener les différents calculs pour planifier des trajectoires. Elle comprend également les différents capteurs. Ceux dédiés à la sécurité sont primordiaux au vu d'une certification et d'une autorisation pour circuler dans une ferme.

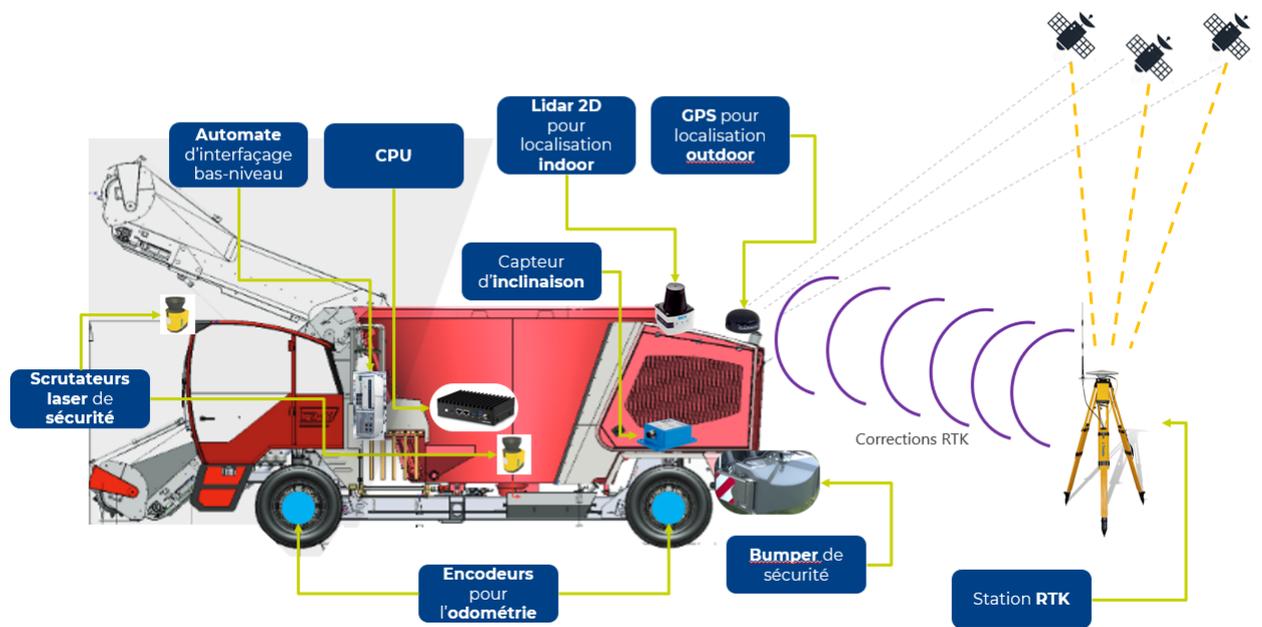


FIGURE 29 – Architecture matérielle

5.2.2 Première industrialisation

Cette étape permet de valider le prototype auprès des organismes de contrôle pour une exploitation industrielle. Il sera aussi question de répondre à une mission plus complète : réaliser un cycle d'acheminement des aliments du silo vers l'étable et la distribution pour alimenter les vaches. Pour cela, il faut définir un cahier des charges précis autour du cycle de fonctionnement du véhicule ainsi que l'interfaçage avec le matériel qui gère le process de la mélangeuse.

Il s'agit aussi de rajouter une caméra et du traitement d'images associé afin de rendre autonome la partie "récupération des aliments" dans le silo. Enfin, pour des raisons opérationnelles, il faut développer une interface utilisateur duale :

- **Une interface opérateur (agriculteur)** : cette interface permettra à l'agriculteur de sélectionner la recette souhaitée. Un cycle de traitement lui sera proposé, il lui suffit de valider pour réaliser l'opération en autonomie ;
- **Une interface pour le client** : lors de mises en service sur de nouvelles fermes, il faut calibrer les capteurs, les configurer et cartographier le nouvel environnement. Cette interface permettra aux techniciens de réaliser les opérations sans intervention du personnel ACTEMIUM sur site.

5.2.3 Déploiement d'une flotte

Une fois le premier véhicule industriel réceptionné et certifié, il s'agit de mettre en place une démarche industrielle permettant de concevoir le même projet sur une

flotte de véhicules. Il faut ainsi mettre en place les bons standards pour gagner en efficacité, en fiabilité et réduire les coûts de production.

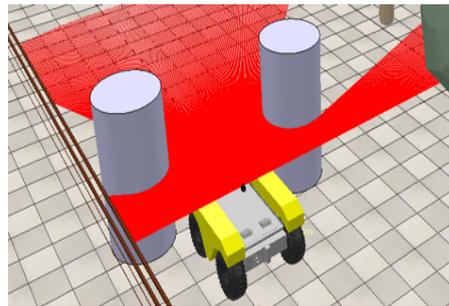
5.3 POC

Afin de démontrer la faisabilité du projet au client, un POC lui a été présenté. La démonstration a été construite sous ROS et VREP. Il s'agit d'une simulation de cartographie d'un environnement. Ce travail s'est déroulé dans l'ordre suivant :

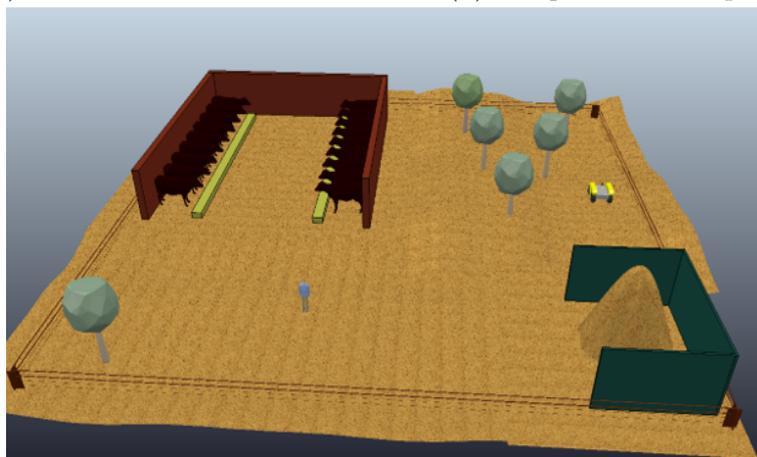
1. **Simulation du véhicule** : cette étape permet de modéliser le véhicule. Pour se faire, il faut créer un modèle dynamique et cinématique du robot. Par la suite, les éléments graphiques y sont greffés.
2. **Simulation de l'environnement** : afin de réaliser la simulation la plus réaliste possible, il est important de modéliser correctement et d'une manière exhaustive l'environnement dans lequel le robot va évoluer.
3. **Intégration des capteurs** : dans cette partie, on choisit les différents capteurs à installer les robots afin de répondre au cahier des charges. Ici, on utilise uniquement un capteur Lidar 2D ainsi que des encodeurs sur les roues.



(a) Modélisation du robot



(b) Intégration des capteurs



(c) Modélisation de l'environnement

FIGURE 30 – Simulation des différentes couches

L'objectif principal de ce POC est de mettre en œuvre les algorithmes de "path planning". La difficulté du projet réside dans la navigation autonome dans un environnement "indoor". En effet, à l'extérieur, grâce à un GPS couplé avec une station RTK, il est relativement simple de se localiser avec précision. A l'intérieur d'une structure comme une étable, la réception des signaux GPS n'est pas garanti. Il faut donc trouver d'autres méthodes de localisation. La plus intéressante dans notre situation est l'utilisation du SLAM (Simultaneous Localization And Mapping). Cette technique permet de créer une carte de l'environnement tel que le robot le perçoit. Elle utilise un Lidar associé avec les encodeurs qui nous informent de la vitesse du robot. Voici une architecture logicielle qui servira de point de départ pour ce projet :

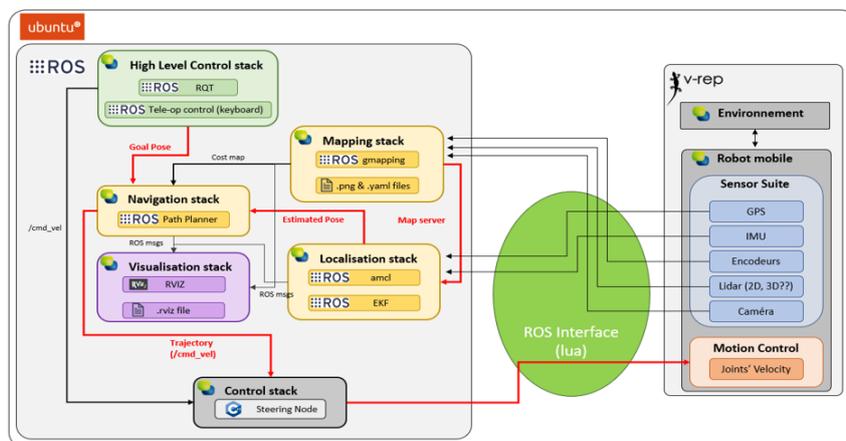


FIGURE 31 – Architecture logicielle

Voici un aperçu du résultat obtenu grâce à l'implémentation d'une partie de cette architecture :

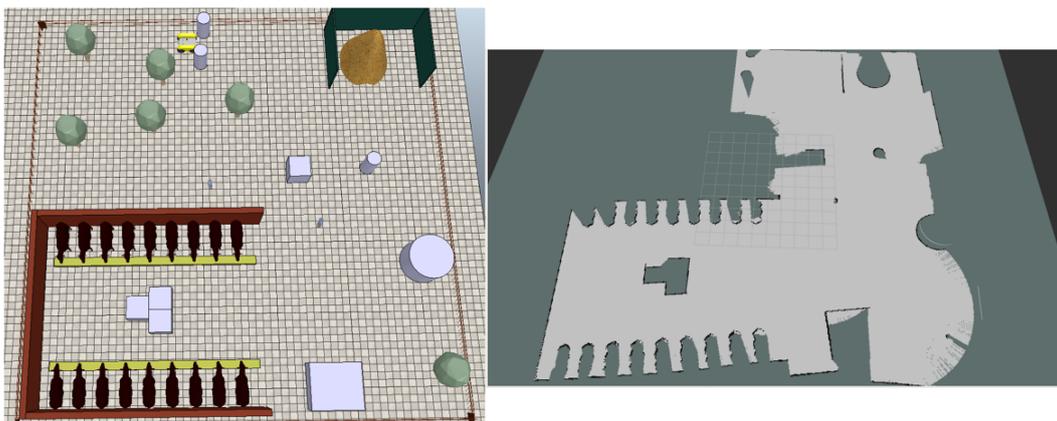


FIGURE 32 – Cartographie de l'environnement

5.4 Difficultés rencontrés et perspectives

Lorsqu'on débute un projet de cette envergure, la première difficulté qu'on rencontre concerne l'ingénierie système. En effet, il est très délicat de prévoir en amont toutes les parties à inclure dans le projet. Une autre problématique concerne le suivi des versions. Dans un projet de robotique mobile, on utilise souvent des fonctionnalités développées par la communauté Open Source. Le grand défi est de garantir un maintien en condition fonctionnelle des programmes sachant que des évolutions sont apportées avec un rythme soutenu. Pour y remédier, on peut utiliser par exemple des CPU fournis par des entreprises qui garantissent le suivi des versions et la compatibilité des différentes briques. C'est le cas de la société ADLINK qui propose des CPU utilisant le middleware ROS.

Par ailleurs, le paramétrage des fichiers "costmap" qui permettent au "path planner" de calculer une trajectoire sont très difficile à configurer. De plus, l'interface qui gère les différents capteurs est écrite en *lua*. Le débogage est très restreint. Une solution pour remédier à ce problème est de développer tout l'environnement de démonstration sous GAZEBO. Il offre des possibilités plus vastes que VREP et est intrinsèquement intégré à ROS.



FIGURE 33 – Contrôleur ADLINK

Ce projet est très prometteur et s'inscrit pleinement dans les objectifs de développement d'une expertise en robotique au sein d'ACTEMIUM BREST. La robotique mobile autonome se développe très rapidement et le marché potentiel dans le domaine de l'agriculture est très vaste.

Conclusion

Ce stage chez ACTEMIUM BREST a permis une immersion totale au sein d'une entreprise industrielle et a contribué à mettre en perspective notre formation d'ingénieur à l'ENSTA BRETAGNE avec les attentes technologiques et économiques de l'entreprise. Dans ce contexte sanitaire difficile qui secoue l'industrie française, les missions réalisées ont permis de participer à la construction d'une expertise dans les différents domaines de la robotique au sein de l'entreprise. L'une des principales satisfactions de ce stage est le fait d'avoir pu travailler sur des sujets réels dès le début du stage, permettant ainsi de répondre concrètement à des besoins clients.

Les différents projets menés ont permis de positionner ACTEMIUM BREST comme acteur à fort potentiel dans le domaine de la robotique (industrielle, collaborative et mobile). Ceci a permis d'acquérir des compétences complémentaires autour de l'intégration et la programmation de robots. La découverte de la robotique collaborative m'a permis d'aborder différemment la place de la robotique au sein de l'industrie. Remettre l'humain au centre de l'activité en lui dégageant du temps pour les tâches à valeur ajoutée est un réel atout pour les entreprises qui intègrent de plus en plus cette dimension dans leurs planifications stratégiques de digitalisation. Quant au motion control, ceci a été une excellente découverte et un réel enrichissement de ma formation. Être au contact de personnes qui maîtrisent le sujet et qui ont mis en pratique sur des projets concrets facilite l'apprentissage.

D'une manière plus globale, les missions ont permis d'appréhender le métier d'ingénieur dans un milieu industriel : construire une offre commerciale avec les équipes techniques autour du projet afin de répondre de la meilleure méthodologie possible aux besoins du client. La découverte du fonctionnement d'une entreprise au sein d'un grand groupe industriel a été très enrichissante. Les expertises sont souvent partagées entre les différentes entités. Il s'agit alors de trouver les bonnes personnes au sein du maillage susceptibles de répondre le mieux aux problématiques du projet. Le positionnement d'ACTEMIUM BREST entre entreprise d'un grand groupe à l'échelle nationale et PME à l'échelle locale permet de bénéficier des atouts stratégiques du groupe tout en maintenant en place une flexibilité des processus internes. Ainsi, participer activement à des projets transverses a permis de saisir les enjeux et contraintes qui pèsent sur l'entreprise : les finances, la planification des projets, la réglementation, l'image de marque, la répartition des charges, etc. La bienveillance et la confiance entre les personnes constituent l'un des leviers d'action qui améliore la performance de l'entreprise, à court et à long terme.

À l'issue de ce stage, j'ai eu l'opportunité de continuer à travailler au sein d'ACTEMIUM BREST dans le cadre d'un contrat de professionnalisation.

Table des figures

1	Les branches du groupe VINCI	5
2	La branche VINCI ENERGIES	6
3	Un réseau mondial	7
4	Le logo de GTIE SYNERTEC	8
5	Organisation d'ACTEMIUM BREST	9
6	Expertises d'ACTEMIUM BREST	9
7	Références clients d'ACTEMIUM BREST	10
8	Secteurs d'activité d'ACTEMIUM BREST	10
9	Les révolutions industrielles	11
10	Robot collaboratif de la marque OMRON	13
11	Exemple d'interface de palettisation	14
12	Environnement de travail	15
13	Description de la machine existante	16
14	Implémentation 3D de la solution	17
15	Méthode de préhension des masques	18
16	Préhenseur	18
17	Les différentes zones de sécurité	19
18	Mise en place de la sécurité machine	20
19	Plateforme de travail	20
20	Matériel utilisé pour le POC	21
21	TMFlow : logiciel de programmation du cobot	21
22	POC palettisation de bouteilles de gel	22
23	Vue d'ensemble du motion control	23
24	Plateforme <i>Sysmac</i> OMRON	24
25	Architecture matérielle de la plateforme	24
26	Interface de Sysmac Studio	25
27	Mélangeuse automotrice	26
28	Les phases de conception du prototype	27
29	Architecture matérielle	28
30	Simulation des différentes couches	29
31	Architecture logicielle	30
32	Cartographie de l'environnement	30
33	Contrôleur ADLINK	31

Annexe A

Évaluation du stage



RAPPORT D'EVALUATION ASSESSMENT REPORT

Merci de retourner ce rapport par courrier ou par voie électronique en fin du stage à :
At the end of the internship, please return this report via mail or email to:

ENSTA Bretagne - Bureau des stages - 2 rue François Verny - 29806 BREST cedex 9 - FRANCE
☎ 00.33 (0) 2.98.34.87.70 / stages@ensta-bretagne.fr

I - ORGANISME / HOST ORGANISATION

NOM / Name GIE Synertec (ACTEMIUM)
Adresse / Address 22 rue Gaston Planté, Z.I de Kergaradec, BP 70076,
29802 Brest CEDEX 9
Tél / Phone (including country and area code) 33 02 98 34 64 00
Nom du superviseur / Name of internship supervisor Damien LE ROUX
Fonction / Function Automaticien - Responsable office Robotique & Motin.
Adresse e-mail / E-mail address damien.leroux@actemium.com
Nom du stagiaire accueilli / Name of intern Hamid HACENE

II - EVALUATION / ASSESSMENT

Veillez attribuer une note, en encerclant la lettre appropriée, pour chacune des caractéristiques suivantes. Cette note devra se situer entre A (très bien) et F (très faible)
Please attribute a mark from A (excellent) to F (very weak).

MISSION / TASK

- ❖ La mission de départ a-t-elle été remplie ? A **B** C D E F
Was the initial contract carried out to your satisfaction?
- ❖ Manquait-il au stagiaire des connaissances ? oui/yes non/no
Was the intern lacking skills?
- Si oui, lesquelles ? / If so, which skills? Electrotechnique / Automatismes.

ESPRIT D'EQUIPE / TEAM SPIRIT

- ❖ Le stagiaire s'est-il bien intégré dans l'organisme d'accueil (disponible, sérieux, s'est adapté au travail en groupe) / Did the intern easily integrate the host organisation? (flexible, conscientious, adapted to team work) A **B** C D E F

Souhaitez-vous nous faire part d'observations ou suggestions ? / If you wish to comment or make a suggestion, please do so here _____

COMPORTEMENT AU TRAVAIL / BEHAVIOUR TOWARDS WORK

Le comportement du stagiaire était-il conforme à vos attentes (Ponctuel, ordonné, respectueux, soucieux de participer et d'acquérir de nouvelles connaissances) ?

Did the intern live up to expectations? (Punctual, methodical, responsive to management instructions, attentive to quality, concerned with acquiring new skills)?

A B C D E F

Souhaitez-vous nous faire part d'observations ou suggestions ? / If you wish to comment or make a suggestion, please do so here Engagé

INITIATIVE – AUTONOMIE / INITIATIVE – AUTONOMY

Le stagiaire s'est-il rapidement adapté à de nouvelles situations ? (Proposition de solutions aux problèmes rencontrés, autonomie dans le travail, etc.)

A B C D E F

Did the intern adapt well to new situations? (eg. suggested solutions to problems encountered, demonstrated autonomy in his/her job, etc.)

A B C D E F

Souhaitez-vous nous faire part d'observations ou suggestions ? / If you wish to comment or make a suggestion, please do so here _____

CULTUREL – COMMUNICATION / CULTURAL – COMMUNICATION

Le stagiaire était-il ouvert, d'une manière générale, à la communication ? Was the intern open to listening and expressing himself/herself?

A B C D E F

Souhaitez-vous nous faire part d'observations ou suggestions ? / If you wish to comment or make a suggestion, please do so here intéresse par le fonctionnement de l'entreprise

OPINION GLOBALE / OVERALL ASSESSMENT

❖ La valeur technique du stagiaire était : Please evaluate the technical skills of the intern:

A B C D E F

III - PARTENARIAT FUTUR / FUTURE PARTNERSHIP

❖ Etes-vous prêt à accueillir un autre stagiaire l'an prochain ?

Would you be willing to host another intern next year? oui/yes non/no

Fait à Brest, le 02/10/20
In _____, on _____

Signature Entreprise _____
Company stamp _____

Signature stagiaire _____
Intern's signature _____

Merci pour votre coopération
We thank you very much for your cooperation