



PROJET INGÉNIEUR N°15

Rapport Public

« Conception et réalisation d'un équipement mesurant la position et la charge d'un individu en milieu industriel »



FERREIRA Emilie
GALLAUD Loïs
GHERIR Farah
GRILLET-NIESS Nathan
LEBAS Nathan

Date :
11 avril 2024
Version :
Première Version

Client :
BLANDET Thierry
Encadrant :
LABED Jelila
Mentore :
NOE Pauline

Remerciements

Nous souhaitons exprimer nos sincères remerciements à nos clients de l'équipe IGG, Thierry Blandet et Romaric Mathis, qui nous ont confié ce projet et ont contribué tant sur les aspects techniques que gestionnaires. Leur disponibilité et leur confiance, en nous permettant l'utilisation de leurs locaux et du matériel de l'équipe IGG en toute autonomie, ont grandement facilité le déroulement de notre mission. Nous souhaitons également exprimer notre gratitude envers Aude Bouillé, étudiante de Polytechnique réalisant son Projet de Fin d'Études au sein de l'équipe IGG, pour son aide et ses conseils lors des dernières étapes du projet.

Un merci tout particulier à Jelila LABED pour son dévouement, ses conseils éclairés et son soutien constant tout au long de l'année. Sans son implication, cette session de projets ingénieurs 2023-2024 n'aurait pas pu se dérouler de manière aussi fructueuse.

Nous exprimons également notre gratitude envers Piotr Szychowiak pour son suivi attentif de l'avancement du projet et ses conseils avisés en matière de gestion de projet. Nos remerciements s'étendent à toute l'équipe de pilotage pour son appui précieux et ses retours constructifs, notamment lors des revues de projet.

Nos remerciements vont également à Norbert Dumas, Baptiste Gomes, Loïc Cuvillon et Morgan Madec pour leurs conseils, leur formation et l'accès qu'ils nous ont accordé aux équipements disponibles au Fablab. Enfin, nous tenons à exprimer notre reconnaissance envers les équipes des projets ingénieurs PI06 de la session 2022-2023 pour leur disponibilité et leur précieuse assistance.

Ces collaborations ont grandement enrichi notre expérience et contribué au succès de notre projet. Nous sommes reconnaissants envers chacun pour leur implication et leur soutien tout au long de cette aventure ingénieure.

Résumé Exécutif

I. Résumé

VRGOCAPT est un projet ingénieur dont l'objectif est de développer et concevoir un équipement de capteurs pour un corps humain, sous la direction de Thierry Blandet de l'équipe Informatique Géométrique et Graphique (IGG) du laboratoire ICube de Strasbourg.

Le projet consiste à réaliser d'un système de capteurs amovibles. Ils devront repérer les positions des différentes parties du corps et mesurer la charge portée par l'utilisateur afin d'en faire une analyse ergonomique. Ce système permet à un individu travaillant en milieu industriel d'améliorer la qualité de ses gestes à partir d'une récupération de données via un support externe ou en temps réel.

II. Description synthétique du projet

L'objectif principal de ce projet consiste à réaliser un équipement permettant de détecter les mouvements et la charge d'un individu dans un milieu industriel afin d'améliorer la qualité des gestes et l'ergonomie des postes de travail. Pour se faire, la demande du client est de concevoir un équipement amovible permettant de visualiser les mouvements, avec ou sans charge. Le projet devra répondre à différentes contraintes : le poids du système, sa portabilité ou encore la précision du dispositif. Une fois réalisé, ce système sera testé en milieu industriel.

III. Abstract

VRGOCAPT is an engineering project aimed at developing and designing a sensor equipment for the human body, under the supervision of Thierry Blandet from the Geometric and Graphic Computing (IGG) team at the ICube laboratory in Strasbourg.

The project involves the creation of a removable sensor system. These sensors will be able to detect the positions of different body parts and measure the load borne by the user to simulate them in virtual reality. This system allows an individual working in an industrial environment to improve the quality of their movements based on data retrieval through an external support or in real-time.

The main objective of this project is to create equipment that can interact with a virtual reality platform in an industrial environment to improve the quality of movements and the ergonomics of workstations. To achieve this, the client's requirement is to design a removable equipment that allows visualizing movements, with or without load. The project must meet various constraints : the weight of the system, its portability, or the accuracy of the device. Once completed, this system will be tested in an industrial setting.

Table des matières

Remerciements	i
Résumé Exécutif	ii
I. Résumé	ii
II. Description synthétique du projet	ii
III. Abstract	ii
Introduction	1
I. Présentation	1
I.1. Clients	1
I.2. Encadrante et mentore	1
I.3. Groupe de Projet Ingénieur	2
II. Contexte	3
Travail effectué	6
I. Analyse du besoin	6
I.1. Expression du besoin	6
I.2. Diagramme SADT	6
I.3. Diagramme des contraintes	8
I.4. Solution VRGOAPT	9
II. Module inertiel	10
II.1. Composants	11
III. Module de charge	12
III.1. Choix capteur de charge	13
III.2. Intégration dans une chaussure	14
IV. Module de contrôle	15
IV.1. Composants	15
IV.2. Récupération et transfert des données	16
IV.3. Modules et coques	17
Gestion de projet	18
I. Organisation	18
I.1. Rôles et responsabilités	18
I.2. Communication	19
II. Planning	19
III. Budget	20
III.1. Frais de personnel	20
III.2. Frais de fonctionnement	21
III.3. Frais de matériel	21
III.4. Coûts opérationnels du matériel	22
IV. Gestion des crises	23

IV.1.	Gestion	23
IV.2.	Technique	23
IV.3.	Humaine	23
V.	Gestion des risques	24
V.1.	Matrice de risques	24
V.2.	Solutions envisagées	24
Conclusion		26
Inventaire du Dossier Industriel		27
I.	Dossier technique	27
II.	Dossier administratif	27
III.	Dossier de Compte-rendu	27

Table des figures

2	Clients du projet VRGOCAPT	1
3	Jelila Labeled, encadrante du projet ingénieur	2
4	Groupe de Projet Ingénieur n°15	2
5	Troubles Musculo-Squelettiques (source : Assurance Maladie 2017)	3
6	Illustration de la qualité d'un mouvement	4
7	Logo VR-Sys&Id, projet ingénieur 2022/2023	5
8	Expression du besoin	6
9	Diagramme SADT	7
10	Fonctions principales du projet	7
11	Diagramme des contraintes	8
12	Liste des contraintes	9
13	Photos du module inertiel	10
14	Corps équipé par le système VRGOCAPT	11
15	Capteur inertiel BNO	11
16	Photos du module de charge	12
17	Capteur de pression FlexiForce A301	14
18	Prototype de l'intégration du module de charge	14
19	Photos du module de contrôle	15
20	Photo d'un microcontrôleur ESP32	16
21	Tableau des rôles au sein du groupe	18
22	Schéma de communication au sein du projet	19
23	Planning prévisionnel global	20
24	Tableau récapitulatif des frais de personnel	21
25	Tableau récapitulatif des frais fonctionnement	21
26	Tableau récapitulatif des frais matériel	22
27	Tableau récapitulatif des coûts opérationnels du matériel	23

28	Matrice des risques	24
29	Tableau des solutions envisagées aux risques	25

Introduction

I. Présentation

I.1. Clients

Thierry BLANDET est un ingénieur faisant partie de l'équipe IGG (Informatique Géographique et Graphique) au sein du laboratoire ICube à l'Université de Strasbourg. Actuellement, il occupe le rôle de responsable du pôle Visualisation et Interaction au sein de la plateforme de recherche GAIA. Son engagement professionnel se manifeste particulièrement dans le projet en cours, intitulé "V.I.R.T.Fac" (Virtual Innovative Real Time Factory).



(a) Thierry Blandet



(b) Romaric Mathis

FIGURE 2 – Clients du projet VRGOAPT

I.2. Encadrante et mentore

La réalisation de ce projet s'est déroulée avec le soutien constant de Jelila LABED, enseignante chercheuse au laboratoire ICube de l'Université de Strasbourg. Elle a obtenu son doctorat en physique de l'environnement terrestre dans le domaine infrarouge thermique de l'Université de Strasbourg et travaille désormais en tant que maître de conférences à l'Université de Strasbourg. Elle a été directrice des études à Telecom Physique Strasbourg en 2005, fonction qu'elle a quittée en 2010. Depuis 2010, elle enseigne la gestion de projets d'ingénierie, en plus de la physique expérimentale.



FIGURE 3 – Jelila Labeled, encadrante du projet ingénieur

I.3. Groupe de Projet Ingénieur

Nous constituons un groupe d'étudiants de l'école Telecom Physique Strasbourg, et c'est à nous qu'incombe la responsabilité de concrétiser le projet du client. De gauche à droite dans la photo, vous pouvez identifier Nathan Grillet-Niess, Emilie Ferreira, Nathan Lebas, Farah Gherir et Loïs Gallaud.



FIGURE 4 – Groupe de Projet Ingénieur n°15

Au centre de notre coordination et de notre dynamisme, Mlle.Ferreira, cheffe de projet, guide notre équipe avec vision et leadership pour assurer le succès de notre entreprise commune.

II. Contexte

Le projet est mené dans un contexte industriel, où les gestes répétitifs peuvent entraîner des conséquences graves sur la santé des utilisateurs, notamment au niveau des articulations. Les troubles musculo-squelettiques (TMS) sont particulièrement préoccupants dans ce domaine, étant la principale cause de maladie professionnelle en France. En 2018, 87% de ces maladies ont entraîné un arrêt de travail ou un dédommagement financier en raison de séquelles.

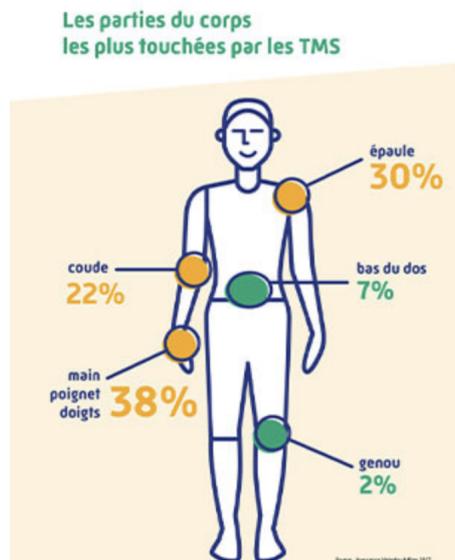


FIGURE 5 – Troubles Musculo-Squelettiques (source : Assurance Maladie 2017)

Ainsi, l'objectif est de minimiser les mouvements qualifiés de "mauvais". La solution envisagée consiste à utiliser la technologie de réalité virtuelle. Cette option est justifiée pour deux raisons principales. Tout d'abord, en ayant un suivi en temps réel avec un avatar en réalité virtuelle, il devient possible de mesurer directement la qualité d'un mouvement. Deuxièmement, la réalité virtuelle offre la possibilité de réaliser des simulations en reproduisant et en modifiant l'environnement de travail d'un utilisateur, ou en simulant de nouveaux gestes pour améliorer ses pratiques et ainsi prévenir les TMS à long terme. Pour illustrer cela, prenons un exemple : si un utilisateur doit se pencher pour déplacer des cartons quotidiennement, une simulation pourrait proposer une table sur laquelle les cartons seraient déposés, empêchant ainsi l'utilisateur de se pencher. De plus, il serait possible d'améliorer le geste effectué par l'utilisateur pour soulever les cartons.



FIGURE 6 – Illustration de la qualité d'un mouvement

Dès lors, il est crucial de définir correctement ce que l'on peut considérer comme un "bon" ou un "mauvais" mouvement. Des ergonomes ont déjà rencontré ce défi et ont élaboré une grille appelée "RULA" (Rapid Upper Limb Assessment). La grille RULA est un outil de dépistage des situations de travail susceptibles de causer des TMS. Il s'agit d'une méthode d'évaluation qui identifie les risques des postures de travail observées sur la partie supérieure du corps et les évalue à l'aide d'un score global et local. Le score global est attribué sur une échelle de 0 à 7, basé sur les angles formés par les membres les uns par rapport aux autres, un point crucial dans l'évaluation.

Actuellement, il existe des combinaisons de capteurs pour l'analyse des mouvements, cependant, ces ensembles préfabriqués présentent plusieurs inconvénients majeurs. Tout d'abord, leur coût élevé représente une barrière pour de nombreuses entreprises. De plus, ces combinaisons sont souvent contraignantes à enfiler et peuvent être peu pratiques à utiliser dans un environnement industriel. De manière critique, il est souvent difficile de connaître en détail la composition et la construction de ces systèmes commerciaux, ce qui limite la possibilité d'adapter précisément les fonctionnalités aux besoins spécifiques du projet.

En développant une solution personnalisée pour la détection de mouvement et de charge, les limitations actuelles peuvent être surmontées. Cette approche offre la possibilité de réduire les coûts tout en concevant un système modulaire adaptable aux besoins spécifiques du client et aux contraintes du milieu industriel. Elle garantit ainsi une meilleure adéquation entre les fonctionnalités du système et les exigences réelles de l'utilisateur final, tout en offrant une transparence et une maîtrise accrues

sur les composants et leur fonctionnement.

En plus des deux projets d'ingénierie précédents, menés respectivement en 2021-2022 et en 2022-2023, qui portaient sur la réalisation d'un "Système inertiel de repérage pour la réalité virtuelle" et d'un "Système inertiel pour la réalité virtuelle", le client nous propose de poursuivre ces efforts en réalisant un système de détection de mouvement et de charge pour un individu en milieu industriel.



FIGURE 7 – Logo VR-Sys&Id, projet ingénieur 2022/2023

Le fait de reprendre un ancien projet présente l'avantage d'avoir déjà une sorte de base établie. Nous pouvons nous appuyer sur les connaissances et les expériences acquises lors des projets antérieurs pour améliorer et adapter le nouveau système aux besoins spécifiques du client. Cela permet également d'accélérer le processus de développement en évitant de partir de zéro et en capitalisant sur les travaux antérieurs.

Travail effectué

I. Analyse du besoin

I.1. Expression du besoin

L'objectif du projet VRGOAPT est de permettre au travailleur dans un milieu industriel d'améliorer la qualité des ses gestes et l'ergonomie de son poste de travail en optimisant l'ergonomie de son environnement de travail par le biais de la réalité virtuelle.



FIGURE 8 – Expression du besoin

L'expression du besoin offre une vision détaillée des exigences et des attentes des parties prenantes vis-à-vis du projet. Cette représentation graphique permet de clarifier les objectifs à atteindre, les fonctionnalités requises, ainsi que les contraintes à prendre en compte.

I.2. Diagramme SADT

Le diagramme SADT (Structured Analysis and Design Technique) propose une modélisation hiérarchique des fonctions et des interactions au sein du système étudié. Chaque boîte représente une fonction spécifique, tandis que les flèches indiquent les flux d'informations ou les relations entre ces fonctions. Cette visualisation permet de comprendre la structure et le fonctionnement global du système, facilitant ainsi son analyse et sa conception.

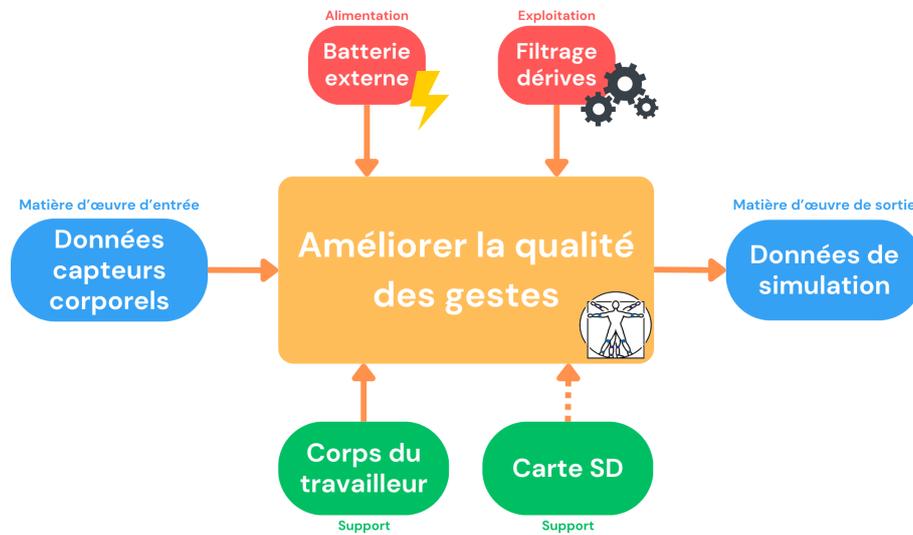


FIGURE 9 – Diagramme SADT

Nous avons déterminé les besoins du client afin d'atteindre l'objectif défini. Un Diagramme SADT a été réalisé, ce qui nous a permis de déduire la nécessité de prendre en compte certains éléments durant notre projet comme des ressources telles que la batterie externe ou le filtrage de données. Mais également certains supports nécessaires pour permettre aux données exploitées d'être pertinentes et d'être traitées.

- Pour cela nous avons distingué deux fonctions principales de notre équipement.
- Capturer les mouvements de l'utilisateur et les transmettre au système de réalité virtuelle
 - Détecter une charge portée par l'utilisateur

Fonction		Expression	Critère d'appréciation	Niveau de flexibilité
FP1 Capturer les mouvements de l'utilisateur et les transmettre au système de réalité virtuelle	FP1.1	Acquérir des données d'orientation et de position	Précision d'acquisition des données	Erreur position < 1cm Erreur orientation < 4°
	FP1.2	Transmettre sans fil des données	Portée et débit	Portée de 20m Minimum Débit : 20ko/s
FP2 Détecter une charge portée par l'utilisateur	FP2.1	Intégrer des modules de charge aux modules repérage	Les modules seront reliés par des câbles	
	FP2.2	Acquérir des données de charge	Précision d'acquisition des données	Erreur précision : 100 g

FIGURE 10 – Fonctions principales du projet

I.3. Diagramme des contraintes

Le diagramme des contraintes, représenté par la figure ci-dessous, offre une vue synthétique des différentes contraintes auxquelles le projet est soumis. Chaque branche de la pieuvre symbolise une contrainte spécifique, que ce soit en termes de budget, de délais, de ressources humaines, ou encore de spécifications techniques. Cette visualisation permet une compréhension rapide des principaux enjeux et limites du projet.

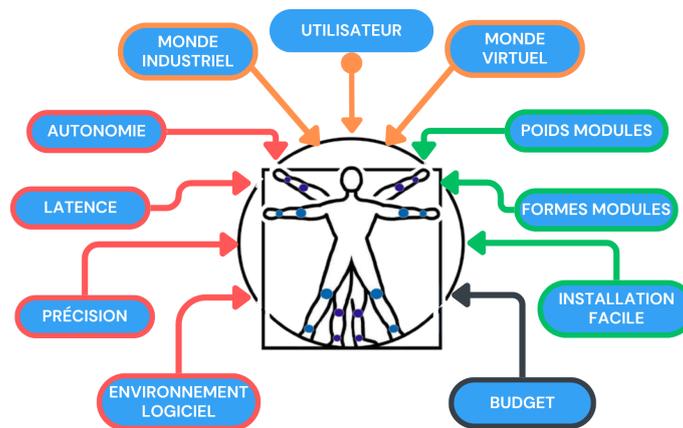


FIGURE 11 – Diagramme des contraintes

Voici ci-contre la liste des fonctions contraintes établies dans le cadre de notre projet.

FC1	Assurer l'autonomie du système	Gestion de l'alimentation grâce à une batterie externe et surveillance de l'autonomie par des voyants lumineux	5h minimum
FC2	Récupération des données	-Carte SD - Sans fil (wifi) -Fréquence d'acquisition compatible avec un usage en réalité virtuelle	Fréquence > 60 mesures par seconde
FC3	Sensibilité du système aux champs électromagnétiques	Peu sensible aux champs magnétiques	Zéro influence sur l'orientation du Nord lors de la calibration statique
FC4	Assurer la compatibilité avec les applications de réalité virtuelle	Données au format JSON	Aucune perte de données
FC5	Ne pas gêner l'utilisateur dans ses mouvements	Répartition du poids des modules	Taille maximale des capteurs : 5x3x1 cm
FC6	Assurer une compatibilité avec les équipements de travail	Modules indépendants les uns des autres	
FC8	Étanchéité des modules	Résistant aux produits de nettoyage et aux projections d'eau	Indice de protection IP44
FC9	Installation simple de l'équipement	Les capteurs se relient entre-eux avec des câbles	Temps d'installation < 15min
FC10	Acquérir les données de répartition du poids de l'utilisateur	Deux capteurs de charge sous chaque pied	Précision : 100g

FIGURE 12 – Liste des contraintes

I.4. Solution VRGOAPT

La solution proposée par le projet VRGOAPT vise à répondre efficacement aux besoins identifiés par les parties prenantes. En se basant sur une analyse approfondie du besoin, le projet s'engage à améliorer la qualité des gestes et l'ergonomie des postes de travail dans les milieux industriels en utilisant la réalité virtuelle comme outil d'optimisation.

Pour cela, plusieurs modules ont été développés pour constituer un système complet et fonctionnel. Le module inertiel détecte les mouvements de l'utilisateur dans l'espace tridimensionnel, tandis que le module de charge mesure en temps réel le poids de la charge portée, permettant ainsi de prévenir les risques de troubles musculo-squelettiques.

Le module de contrôle joue un rôle central dans l'orchestration de la collecte, du traitement et de la transmission des données. En intégrant les données des modules inertiel et de charge, il permet une analyse complète des mouvements de l'utilisateur. Les données collectées sont ensuite transmises de manière efficace vers un routeur

ou un serveur dédié, assurant ainsi une visualisation en temps réel des informations pertinentes.

Chaque composant a été soigneusement sélectionné pour sa performance et sa fiabilité, et intégré dans des coques spécialement conçues pour garantir un fonctionnement optimal du système dans des conditions industrielles exigeantes.

Ensemble, ces modules offrent une solution complète et innovante pour améliorer la qualité de vie au travail et prévenir les risques professionnels dans les environnements industriels. Grâce à VRGOAPT, les travailleurs bénéficient d'un outil puissant pour optimiser leurs gestes et leur environnement de travail, contribuant ainsi à une meilleure santé et productivité au sein des entreprises.

II. Module inertiel

Le capteur inertiel détecte les mouvements de l'utilisateur dans l'espace tridimensionnel. Leurs connectiques permettent de les relier entre eux par des câbles Tiny XLR, assurant ainsi une communication fiable entre les composants du système. Cette connectivité garantit une transmission précise des données de mouvement, permettant une surveillance optimisée des opérations industrielles.



(a) Avant-bras & main



(b) Connectiques du module inertiel

FIGURE 13 – Photos du module inertiel



FIGURE 14 – Corps équipé par le système VRGOAPT

II.1. Composants

Capteur inertiel : Ce modèle de capteur a été sélectionné en raison de son utilisation de données en mode I2C, parfaitement adapté à nos besoins. Il se distingue par sa précision, sa rapidité de transmission de données et sa composition comprenant trois accéléromètres, trois gyroscopes et trois magnétomètres.

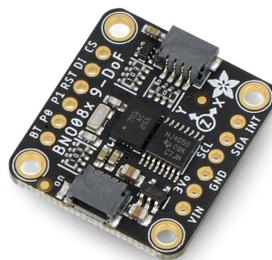


FIGURE 15 – Capteur inertiel BNO

Connectiques mâles/femelles (Tiny XLR) : Les connecteurs mâles et femelles Tiny XLR ont été choisis en raison de leur petite taille et de leurs quatre

broches, ce qui les rend idéaux pour la réception ou l'envoi des données des différents capteurs.

Câbles : Les câbles choisis sont de qualité et durables, assurant une transmission fiable des données entre les différents composants du système.

Coque imprimée 3D : Un boîtier imprimé en 3D a été conçu pour accueillir les deux connecteurs permettant d'envoyer et de recevoir les données des capteurs mis en série, ainsi que le capteur lui-même.

Module et coque : La coque du module de contrôle a été créée avec SolidWorks, offrant une flexibilité de conception. Les premières versions, imprimées en PLA Pro, ont permis d'identifier les problèmes du système. Cependant, après avoir constaté que le PLA Pro satisfait nos besoins, la version finale a été réalisée avec ce matériau, assurant un module fonctionnel de qualité.

III. Module de charge

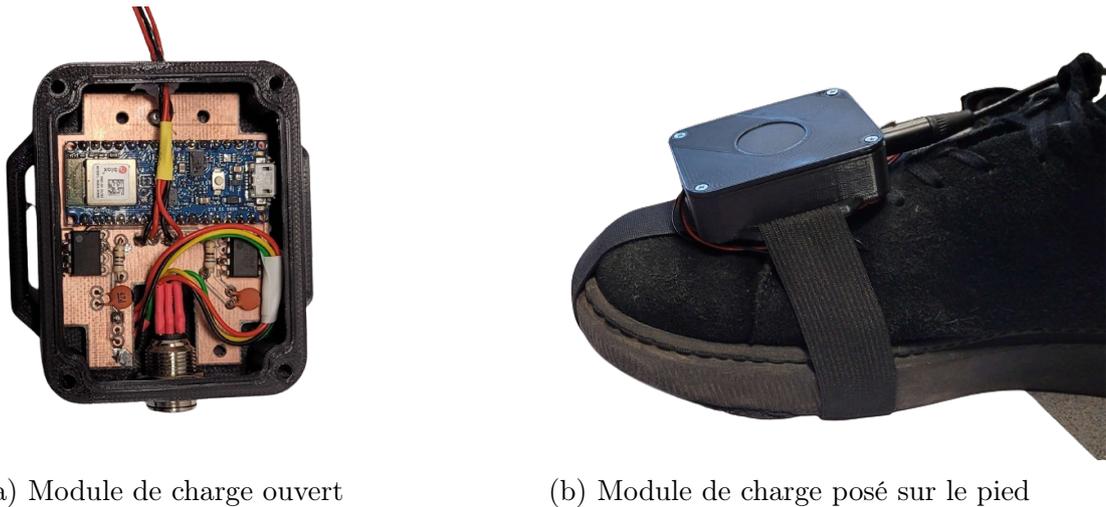


FIGURE 16 – Photos du module de charge

Le projet implique également la mesure en temps réel du poids de la charge portée par un individu. En effet, la manipulation d'objets lourds peut exercer des contraintes supplémentaires sur les articulations, augmentant ainsi le risque de développer des troubles musculo-squelettiques (TMS), que nous cherchons à prévenir.

Deux défis se distinguent rapidement. Le premier concerne les aspects techniques. Il est crucial que les capteurs utilisés puissent mesurer une charge totale (utilisateur + charge portée) d'environ 150 kilos avec une grande précision. De plus, ces capteurs doivent être précis afin de traiter les données et de fournir des interprétations fiables et cohérentes par la suite. Il est également essentiel de transmettre les données au module de contrôle pour qu'elles puissent être envoyées à un routeur. Ainsi, le choix des capteurs et du module d'envoi des données est primordial.

Le deuxième défi concerne la praticité. Nous devons concevoir un système qui puisse être rapidement installé dans des conditions réelles, notamment en milieu industriel. Cela implique de concevoir un système adaptable à un large éventail d'individus ayant des pointures différentes. Le système doit être maniable tout en étant résistant à diverses manipulations et à des éléments tels que les projections d'eau. Cette partie étant un projet de conception à part entière, elle a été confiée à une équipe spécialisée en prototypage de produits et d'outillage (PPO) de la licence professionnelle métiers de l'industrie : conception et processus de mise en forme des matériaux. Une collaboration étroite est entretenue avec cette équipe à travers des échanges fréquents. Leur objectif est de mettre en œuvre une solution technique répondant aux exigences identifiées précédemment.

III.1. Choix capteur de charge

La priorité identifiée était le choix d'un capteur approprié. Toutes les autres étapes du projet ont été basées sur cette décision. Nous avons donc effectué une analyse des capteurs disponibles sur le marché, suivi d'un tableau comparatif de leurs caractéristiques pour identifier celui répondant le mieux à nos besoins. Notre choix s'est porté sur le capteur Flexiforce A301 en raison de sa capacité de 4500 N, suffisante pour détecter les poids dans la plage spécifiée. De plus, sa petite taille (25,4 mm x 14 mm) offre une grande maniabilité et une facilité d'utilisation.

Après réception des capteurs, il était essentiel de les caractériser pour assurer leur bon fonctionnement. Nous avons donc conçu un banc de test qui a confirmé leur fiabilité. En parallèle, nous avons créé un module en impression 3D, incluant un montage électrique inverseur pour une lecture précise des données, ainsi qu'un Arduino Nano dédié à la transmission des données vers le module de contrôle. Le choix de l'Arduino Nano était évident, car il intègre un accéléromètre, répondant ainsi aux exigences initiales du cahier des charges qui spécifiait la présence d'un accéléromètre sur chaque pied.

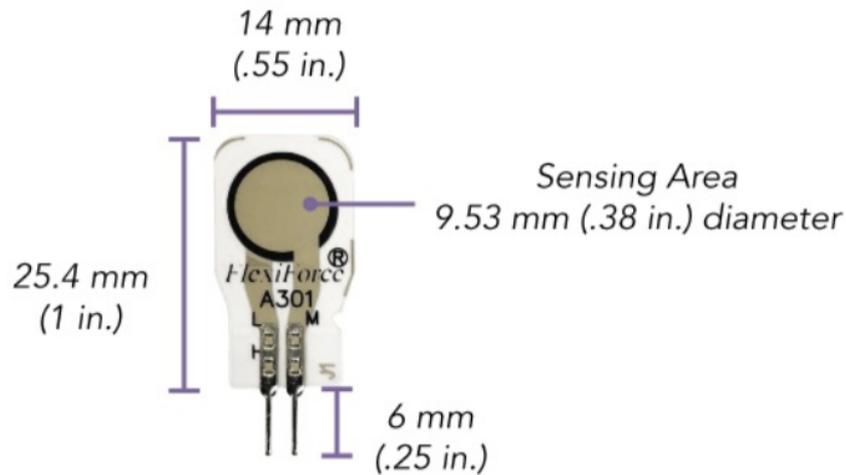


FIGURE 17 – Capteur de pression FlexiForce A301

Nous avons intégré ces modules de manière optimale avec le reste de l'équipement, en assurant une gestion efficace de la réception et de l'envoi des données, tout en fixant une attache pour une installation confortable du module. À présent, l'équipe de la licence PPO prend en charge l'intégration des capteurs dans des chaussures de sécurité adaptables.

III.2. Intégration dans une chaussure

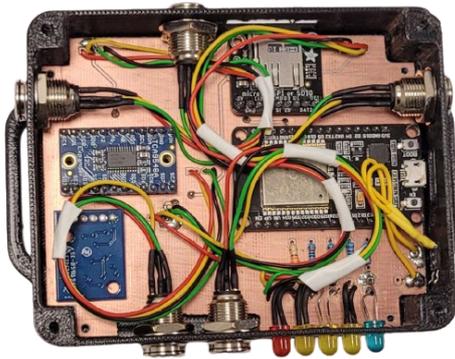


FIGURE 18 – Prototype de l'intégration du module de charge

À ce jour, l'équipe de PPO n'a pas encore progressé au-delà de la phase de réflexion. Il est important de noter que cette partie du projet n'est plus sous notre responsabilité, conformément à l'accord convenu avec le client.

IV. Module de contrôle

Au cœur du projet, le module de contrôle constitue le pivot qui orchestre la collecte, le traitement et la transmission des données cinématiques du corps de l'utilisateur.



(a) Module de contrôle ouvert



(b) Module de contrôle fermé

FIGURE 19 – Photos du module de contrôle

Lorsque le système enregistre les données, le module central récupère les données de chaque module inertiel et des modules de charge, compacte les données dans un format peu coûteux en espace pour faciliter les transmissions sans-fil et le temps d'écriture dans la carte SD. Une fois les données compactées, elles sont envoyées sans-fil vers un routeur ou bien un serveur dédié (l'utilisateur du système peut configurer son utilisation). Les données sont ensuite écrites dans la carte SD avant de recommencer le cycle. Le temps que prend la récupération, l'envoi et l'écriture des données permet une visualisation avec un taux de rafraîchissement qui respecte les conditions du cahier des charges.

IV.1. Composants

Microcontrôleur :

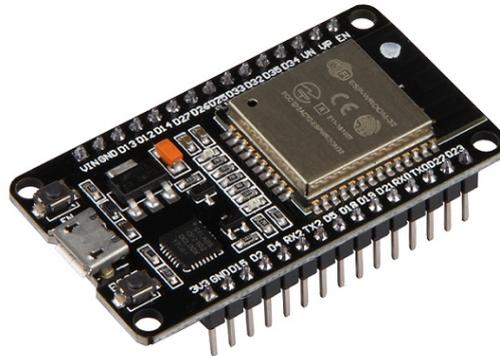


FIGURE 20 – Photo d'un microcontrôleur ESP32

Un microcontrôleur est un dispositif électronique qui combine un microprocesseur, de la mémoire et des interfaces de communication sur une seule puce. Sa conception compacte en fait un choix privilégié pour de nombreuses applications électroniques. L'ESP32, choisi pour notre application, se distingue par sa capacité à échanger des données via WiFi.

LED + Résistance : Les LEDs accompagnées de résistances sont utilisées pour visualiser l'état du code dans les projets électroniques. Les résistances limitent le courant traversant les LEDs, les protégeant ainsi, tandis que les LEDs programmées indiquent différents états du code, facilitant ainsi la compréhension de l'utilisateur.

Bouton poussoir : Le bouton poussoir est un composant clé qui permet de démarrer, réinitialiser ou arrêter le code en fonction de son état.

Multiplexeur : Le multiplexeur assure le tri et l'organisation des données provenant de divers capteurs avant de les transmettre de manière méthodique au microcontrôleur. Il permet de gérer efficacement les flux de données en provenance de plusieurs sources, augmentant ainsi le nombre de connexions I2C disponibles.

Carte SD : La carte SD permet la sauvegarde des données des simulations effectuées avec le système, sous un format normalisé convenu avec le client pour faciliter le traitement ultérieur des données.

Routeur : Un routeur dirige le trafic de données entre les différents appareils connectés à un réseau, permettant la visualisation en direct des mouvements capturés par le système sur le logiciel de visualisation du client.

Coque imprimée 3D : Un boîtier imprimé en 3D a été conçu pour recevoir l'ESP-32, le multiplexeur, la carte SD, les LEDs, le bouton poussoir ainsi qu'un capteur inertiel et les connectiques nécessaires.

IV.2. Récupération et transfert des données

Pour obtenir les mouvements du corps de l'utilisateur, des dispositifs appelés centrales inertielles sont utilisés. Ces dispositifs mesurent des paramètres tels que

l'accélération linéaire et la vitesse angulaire, et sont capables de détecter le champ magnétique. Les données recueillies sont ensuite traitées par une unité appelée IMU, qui calcule les angles de rotation du corps dans l'espace. Toutes ces informations sont envoyées au microcontrôleur via un protocole de communication appelé I2C, utilisant les canaux SDA et SCL pour la transmission des données.

IV.3. Modules et coques

La coque du module de contrôle a été créée à l'aide d'un logiciel de conception assistée par ordinateur appelé SolidWorks. Ce logiciel permet une conception et une modification rapides des formes et des dimensions. Les premiers modèles ont été imprimés en PLA Pro, mais la version finale a été fabriquée en HIPS pour garantir un module de contrôle fonctionnel et de qualité.

Gestion de projet

I. Organisation

I.1. Rôles et responsabilités

Membre de l'équipe	Rôle attribué	Description
Emilie FERREIRA	Cheffe de projet et responsable du module de charge	Assure la bonne communication entre les parties prenantes. Responsable de la réalisation des modules de charges
Farah GHERIR	Responsable CAO et impression des modules	Coordonne la conception et la réalisation des boîtiers des modules
Loïs GALLAUD	Responsable programmation	Assure le développement et la gestion de la programmation nécessaire au projet
Nathan LEBAS	Responsable transmission des données	Assure la bonne transmission des données de l'équipement
Nathan GRILLET--NIESS	Responsable modules inertiels	Responsable de la réalisation des modules inertiels

FIGURE 21 – Tableau des rôles au sein du groupe

Le travail est divisé selon les types de modules présents dans le système complet : module central, module inertielle et module de charge. Un responsable a été désigné pour chacune de ces parties en fonction des préférences des membres de l'équipe. Le tableau ci-dessus représente la répartition des responsabilités au sein du groupe.

I.2. Communication

Durant l'entièreté du projet nous avons utilisé différents canaux de discussions en fonction de l'interlocuteur. Entre les différents membres du groupe, la communication par Whatsapp a été choisie. Nous avons créé un serveur Discord partagé avec le client ainsi qu'avec l'équipe d'étudiants en licence PPO (Prototypage de Produits et d'Outillage) de l'Université de Strasbourg. Nous utilisons également les mails afin de communiquer avec le client et avec l'équipe de pilotage.

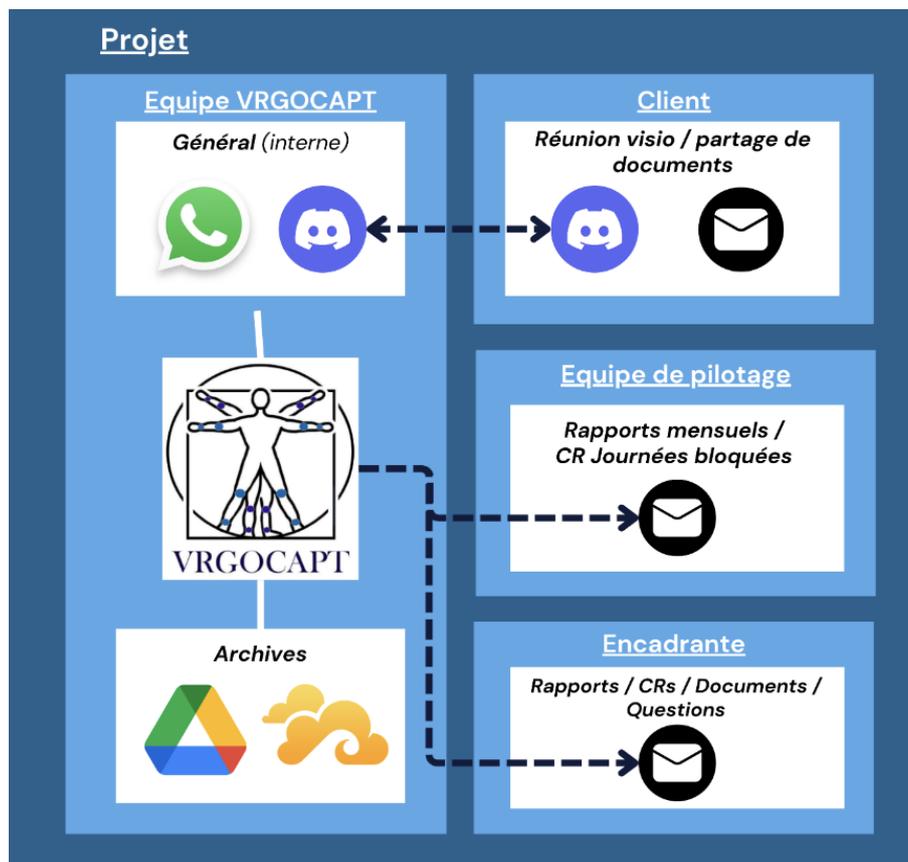


FIGURE 22 – Schéma de communication au sein du projet

II. Planning

En début d'année, un planning prévisionnel a été mis en place sur la durée complète du projet dans le but de fournir une vue d'ensemble et de le structurer. Ce planning a joué un rôle essentiel en guidant la réalisation et en offrant une meilleure visibilité sur l'avancement du projet.

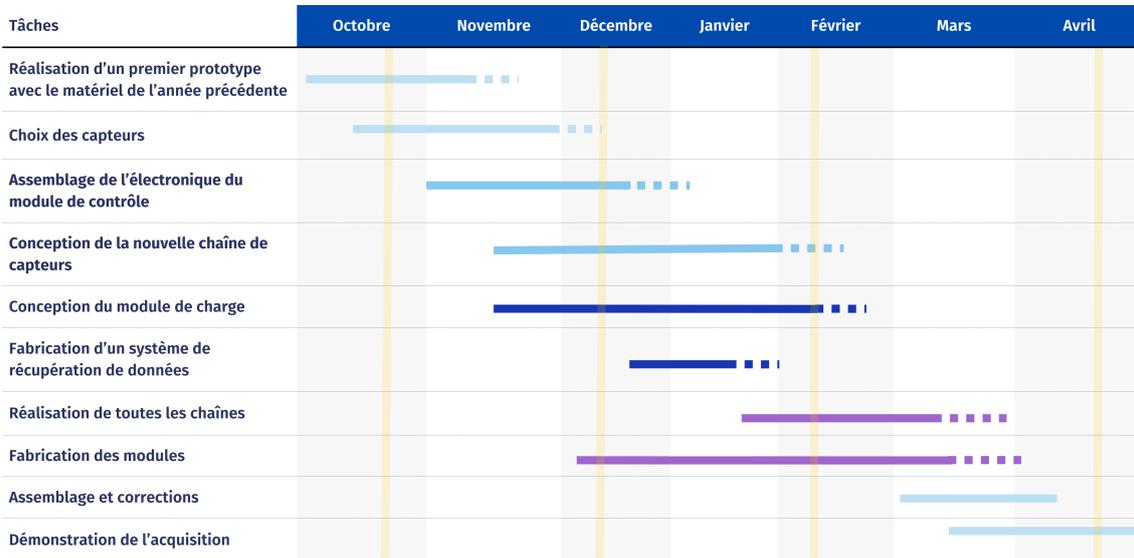


FIGURE 23 – Planning prévisionnel global

La fabrication des modules inertiels est une tâche répétitive qui consiste en l'assemblage des boîtes en plastiques imprimées en 3D et les soudage des composants à l'intérieur de chaque module. C'est pourquoi cette tâche est bien plus étendue dans le temps que les autres.

III. Budget

Cette section offre un aperçu détaillé du budget alloué au projet, en examinant les différentes catégories de dépenses prévues, les sources de financement et les stratégies budgétaires adoptées pour une gestion efficace des ressources financières.

III.1. Frais de personnel

Le tableau récapitulatif des frais de personnel détaille les coûts associés à l'ensemble des membres de l'équipe travaillant sur le projet, y compris les salaires, les charges sociales et éventuellement les primes. Cette section permet d'évaluer précisément les dépenses liées à la main-d'œuvre et de garantir une gestion efficace des ressources humaines.

Frais du personnel					
	Salaire brut horaire	Volume horaire	Prix total		
			Prévisionnel	Réel	Avancement
Ingénieurs	40 €	750 h	30 000 €	0 €	75 %
Encadrants	60 €	60 h	3 600 €	3 600 €	75 %
Equipe de pilotage	60 €	60 h	3 600 €	3 600 €	75 %
Sous-total			37 200 €	7 200 €	75 %

FIGURE 24 – Tableau récapitulatif des frais de personnel

III.2. Frais de fonctionnement

Le tableau récapitulatif des frais de fonctionnement répertorie les dépenses liées aux activités quotidiennes du projet, telles que les frais administratifs, les déplacements, la communication, la location d'une salle de travail etc. Cette section offre une vision globale des coûts nécessaires au bon fonctionnement et à la gestion opérationnelle du projet.

Frais de fonctionnement					
	loyer	Nombre de mois	Prix total		
			Prévisionnel	Réel	Avancement
Location de salle	300 €	8	2 400	2 400 €	75 %
Sous-total			2 400€	2 400€	75 %

FIGURE 25 – Tableau récapitulatif des frais fonctionnement

III.3. Frais de matériel

Le tableau récapitulatif des frais de matériel liste les coûts associés à l'acquisition de tout équipement, outillage ou matériel nécessaire à la réalisation du projet. Cette section permet de budgétiser de manière précise les investissements en équipements et de garantir leur disponibilité tout au long du projet.

Coûts opérationnels du matériel					
	Prix unitaire	Quantité	Prix total		
			Prévisionnel	Réel	Progression
<i>Tiny XLR connexion mâle</i>	2.77 €	35	96.95€	96.95 €	100 %
<i>Tiny XLR connexion femelle</i>	2.33 €	35	81.55 €	81.55 €	100 %
<i>Microcontrôleur</i>	10 €	2	20€	20€	100 %
<i>Batterie externe</i>	15 €	1	15 €	15 €	100 %
<i>WIFI-Module</i>	50 €	1	50 €	50 €	100 %
<i>Câbles blindés</i>	14.79 €	2 (6 Mètres)	29.58 €	29.58€	100 %
<i>capteurs inertiels (tests)</i>	38.85 €	2	77,7 €	77,7 €	100 %
	50.60 €	2	101,2 €	101,2 €	100 %
<i>Capteurs inertiels finaux</i>	50.60 €	17	860.2 €	809.6 €	100 %
<i>Matériau d'impression 3D</i>	19.8 €	2 (3 kg)	30.6 €	30.6€	100 %
<i>Capteurs de pression</i>	100 €	1	100 €	100 €	100 %
<i>Gaine thermo-rétractable</i>	0.90€	1	0.90€	0.90€	100%
<i>Ecrous</i>	4.07€	2	8.14€	8.14€	100%
<i>Scratch</i>	14.76€	1	14.76€	14.76€	100%
<i>Vis M2.5</i>	4.07€	1	4.07€	4.07€	100%
Sous-total			1 505,65 €	1505.65€	100 %

FIGURE 26 – Tableau récapitulatif des frais matériel

III.4. Coûts opérationnels du matériel

Le tableau récapitulatif des coûts opérationnels du matériel détaille les dépenses liées à l'utilisation et à la maintenance du matériel tout au long du projet. Cette section permet d'estimer les coûts associés à l'exploitation des équipements. Les coûts opérationnels du matériel incluent les amortissements, qui représentent la répartition des coûts initiaux d'achat du matériel sur sa durée de vie utile.

Coût opérationnel du matériel					
	Prix à l'unité	Quantité	Prix total		
			Prévisionnel	Réel	Avancement
Ordinateur personnel (Amortissement : 3 ans)	500 €	5	694 €	0 €	100 %
Imprimante 3D (Amortissement : 6 ans)	2 390 €	1	330 €	0 €	100 %
Licence solidWorks (Amortissement : 1 an)	1 185 €	1	983 €	0 €	100 %
Sous-total			2 007 €	0 €	100 %

FIGURE 27 – Tableau récapitulatif des coûts opérationnels du matériel

IV. Gestion des crises

IV.1. Gestion

Aucun problème particulier n'a été rencontré dans cette partie du projet. Les efforts investis dans le projet ainsi que le temps dédié nous ont permis d'être efficaces et de respecter le planning prévisionnel.

IV.2. Technique

Quelques soucis ont été rencontrés avec les machines du Fablab. En particulier, la micrograveuse avait des difficultés à graver les PCB correctement, nécessitant souvent une calibration de la machine. Cela a entraîné un investissement de temps supplémentaire dans la gravure des PCB. De même, l'imprimante 3D a nécessité plusieurs essais pour le module central en raison de problèmes d'impression. Heureusement, ces problèmes techniques n'ont pas retardé le projet, car nous avons initialement pris de l'avance.

IV.3. Humaine

Il y a eu un manque de communication avec l'équipe d'étudiants en licence PPO chargée de l'intégration du module de charge sur une chaussure de sécurité. Leur manque de communication a entraîné un manque de visibilité sur les avancées de cette partie du projet. Une décision a été prise pour fixer des rendez-vous plus réguliers avec eux, à raison d'un rendez-vous toutes les deux semaines. Cette planification de visioconférences nous a permis de constater les progrès du projet dans ce domaine. En ce qui concerne les relations avec le client, elles sont très positives, les rendez-vous hebdomadaires permettent une communication fluide et une bonne

entente. De plus, aucun problème d'entente entre les membres du projet n'a été constaté.

V. Gestion des risques

Pour garantir le bon déroulement du projet, il est impératif d'identifier les risques potentiels et d'évaluer leur criticité. Dans cette optique, nous avons élaboré une matrice des risques afin de visualiser clairement les différents scénarios pouvant impacter le projet. Une fois ces risques identifiés, des solutions ont été envisagées pour les prévenir et les éviter, assurant ainsi la continuité des opérations et la réalisation des objectifs fixés.

V.1. Matrice de risques

La matrice de risques représente une visualisation systématique des risques identifiés, classés en fonction de leur probabilité d'occurrence et de leur impact sur le projet.

		Probabilité		
		Faible	Moyen	Fort
Impact	Faible	Mauvaise compréhension du projet (T1)	Mauvaise estimation de budget (T3)	Composant défectueux (T5)
	Moyen	Indisponibilité du client (R1) Mauvaise répartition de travail (R2)	Retard sur la livraison (E1)	Mauvaise gestion du temps (R4)
	Fort	Perte de motivation de l'équipe (R3) Problème techniques entraînant la perte de code (T2)	Indisponibilité des machines du Fablab (T4)	Pénurie de composants (E2)

FIGURE 28 – Matrice des risques

Cette approche permet de hiérarchiser les risques et de concentrer les efforts sur ceux qui présentent le plus grand danger pour la réussite du projet. La matrice de risques fournit également une base solide pour l'élaboration de stratégies d'atténuation et de gestion des risques.

V.2. Solutions envisagées

Face à chaque risque identifié, des solutions ont été envisagées pour les prévenir ou les atténuer. Ces solutions peuvent inclure des mesures préventives, telles que des ajustements dans la planification ou l'allocation de ressources supplémentaires, ainsi que des stratégies de réponse en cas de réalisation du risque.

		Solution
Risque Relationnel	R1	Communication et réunion hebdomadaire avec le client
	R2	Attribution de responsables de tâches
	R3	Attribution de chaque tâche en fonction des volontés et des
	R4	Réalisation d'un planning prévisionnel à long et court termes
Risque Technique	T1	Appropriation du sujet grâce à une phase d'état de l'art (étude du projet précédent)
	T2	Sauvegarde et mise en commun régulière du travail
	T3	Estimation précise du budget
	T4	Réservation des machines et anticipation de leurs utilisations
	T5	Prévision de composant supplémentaires et test individuel de chacun d'eux
Risque Environnemental	E1	Anticipation des commandes de matériel
	E2	Prévision de composants alternatifs

FIGURE 29 – Tableau des solutions envisagées aux risques

En anticipant les risques et en proposant des solutions adéquates, nous visons à minimiser les perturbations potentielles et à garantir la réussite du projet.

Conclusion

Le projet VRGOAPT, commandé par Thierry Blandet de l'équipe Informatique Géométrique et Graphique (IGG) du laboratoire ICube de Strasbourg, visait à développer un équipement de capteurs pour le corps humain afin d'améliorer la qualité des gestes dans un environnement industriel, en simulant des mouvements en réalité virtuelle et réalisant une analyse ergonomique.

Pour répondre aux exigences du client, nous avons conçu et développé trois modules principaux : le module de contrôle, le module inertiel et le module de charge. Le module de contrôle, central dans le système, a été élaboré autour d'un microcontrôleur ESP32, permettant la collecte, le traitement et la transmission des données cinématiques du corps de l'utilisateur. Nous avons également intégré des composants tels que des LEDs, un bouton poussoir, un multiplexeur, une carte SD et un routeur, le tout dans une coque imprimée en 3D pour assurer un fonctionnement efficace et une facilité d'utilisation.

Le module inertiel a été équipé de capteurs BNO et de connectiques Tiny XLR pour capturer les mouvements du corps en 3D. Nous avons également développé une coque imprimée en 3D pour intégrer ces composants de manière optimale.

Quant au module de charge, nous avons sélectionné le capteur Flexiforce A301 pour mesurer la charge portée par l'utilisateur. Nous avons réalisé des tests pour caractériser les capteurs et avons conçu un module en impression 3D pour intégrer les capteurs et assurer la transmission des données vers le module de contrôle.

En collaborant étroitement avec l'équipe de la licence professionnelle métiers de l'industrie : conception et processus de mise en forme des matériaux (PPO), nous avons progressé dans l'intégration des capteurs de charge dans des chaussures de sécurité adaptables, répondant ainsi aux exigences de praticité du projet.

En conclusion, le projet VRGOAPT a été mené à bien, et le produit livré répond aux demandes du client. Grâce à notre approche méthodique et collaborative, le client dispose désormais d'un équipement fonctionnel qui lui permettra d'améliorer la qualité des gestes dans son environnement industriel.

Inventaire du Dossier Industriel

I. Dossier technique

- Notice des composants
- Codes utilisés pour le fonctionnement du projet
- Documentation fournie par le client
- Solutions techniques (fichiers contenant les explications des choix techniques)

II. Dossier administratif

- Premières versions des documents
- Résumé
- Découpage du projet en phases
- Documents relatifs à la semaine bloquée

III. Dossier de Compte-rendu

- CR hebdomadaire
- CR journées bloquées
- CR des revues de projet

Resumé

VRGOCAPT est un projet ingénieur dont l'objectif est de développer et concevoir un équipement de capteurs pour un corps humain, sous la direction de Thierry Blandet de l'équipe Informatique Géométrique et Graphique (IGG) du laboratoire ICube de Strasbourg.

Le projet consiste à la réalisation d'un système de capteurs amovibles. Ils devront repérer les positions des différentes parties du corps et mesurer la charge portée par l'utilisateur afin d'en faire une simulation en réalité virtuelle. Ce système permet à un individu travaillant en milieu industriel d'améliorer la qualité de ses gestes à partir d'une récupération de données via un support externe ou en temps réel.

Abstract

VRGOCAPT is an engineering project aimed at developing and designing a sensor equipment for the human body, under the supervision of Thierry Blandet from the Geometric and Graphic Computing (IGG) team at the ICube laboratory in Strasbourg.

The project involves the creation of a removable sensor system. These sensors will be able to detect the positions of different body parts and measure the load borne by the user to simulate them in virtual reality. This system allows an individual working in an industrial environment to improve the quality of their movements based on data retrieval through an external support or in real-time.

The main objective of this project is to create equipment that can interact with a virtual reality platform in an industrial environment to improve the quality of movements and the ergonomics of workstations. To achieve this, the client's requirement is to design a removable equipment that allows visualizing movements, with or without load. The project must meet various constraints : the weight of the system, its portability, or the accuracy of the device. Once completed, this system will be tested in an industrial setting.