

# THALES



RAPPORT DE PROJET DE FIN D'ETUDES

---

## Automatisation d'un Banc de Test

---

*Auteur :*

CLAVIER EVANN

ENSTA BRETAGNE PROMOTION 2019

FILIÈRE SYSTÈMES, PERCEPTION, INFORMATION, DÉCISION - OPTION ROBOTIQUE

*Ingénieur Pilote :*

M. MAHE CLÉMENT

*Tuteur École :*

M. JAULIN LUC

Mars à Septembre 2019



## Résumé

Ce rapport présente le travail et les résultats obtenus pendant mon stage de fin d'études réalisé au sein de l'entreprise Thales à Brest.

Durant cette année, un projet d'automatisation d'un banc de test, servant à tester la résistance à l'étirement de câbles, m'a été confié. Pour adapter au mieux le système développé au banc de test existant, la rédaction de documents nécessaires de spécifications ainsi qu'une phase de rétro-ingénierie ont été fondamentales. La programmation d'un nouvel automate et d'une IHM a ensuite été réalisée. Afin de garantir un lissage de la tension du câble, l'intégration à l'automate d'une régulation à base d'un PID a été choisie. Pour finir, le système a été installé et testé, afin d'être rendu le plus ergonomique possible.

Ce projet a été mené individuellement et a été pourvu d'échanges avec des ingénieurs et des opérateurs afin de répondre au mieux aux besoins de l'équipe de production.

Lors de périodes d'utilisation du banc de test, l'occasion de travailler sur le robot TSAM, utilisé dans la guerre des mines, s'est présentée. Sur ce projet, je suis intervenu dans une phase de réflexion liée à une amélioration électronique du robot ; qui m'a conduit à effectuer une analyse puis une proposition de nouveaux plans de câblage.

**Mots clés :** Automatisation, Automate, IHM, PID, Rétro-ingénierie, Safety, Spécification.

---

This report presents the work and results obtained during my final internship at Thales in Brest.

During this year, I was entrusted with a project to automate a test bench to test the resistance to cable stretching. To best adapt the system developed to the existing test bench, the drafting of the necessary specification documents and a reverse engineering phase were fundamental. The programming of a new PLC and a HMI was then carried out. In order to guarantee a smoothing of the cable tension, the integration of a PID-based regulation into the PLC was chosen. Finally, the system was installed and tested, in order to make it as ergonomic as possible. This project was carried out individually and was provided with exchanges with engineers and operators in order to best meet the needs of the production team.

During periods of use of the test bench, the opportunity to work on the TSAM robot, used in mine warfare, arose. On this project, I participated in a reflection phase related to an electronic improvement of the robot ; which led me to carry out an analysis and then a proposal for new wiring plans.

**Keywords :** Automation, PLC, HMI, PID, Reverse engineering, Safety, Specification.



# Table des matières

<b>Remerciements</b>	<b>i</b>
<b>Introduction</b>	<b>1</b>
<b>1 Présentation</b>	<b>2</b>
1.1 Présentation de l'environnement de travail . . . . .	2
1.2 Présentation du projet . . . . .	3
1.2.1 Le banc de test traction . . . . .	3
1.2.2 Cadre du projet d'automatisation . . . . .	5
<b>2 Ingénierie Système</b>	<b>6</b>
2.1 Choix du système embarqué . . . . .	8
2.2 Choix du module de sécurité . . . . .	9
2.3 Choix des actionneurs . . . . .	9
2.4 Fiches de tests . . . . .	10
<b>3 Analyse Safety</b>	<b>11</b>
3.1 Présentation des niveaux de sécurité . . . . .	11
3.2 Application au système . . . . .	12
<b>4 Développement du système</b>	<b>15</b>
4.1 Choix des composants de l'armoire électrique . . . . .	15
4.2 Schéma électrique . . . . .	16
4.3 Programmation . . . . .	16
4.4 Régulation . . . . .	19
4.4.1 Choix de la régulation . . . . .	19
4.4.2 Mise en place de la régulation . . . . .	21
<b>5 Intégration et Tests</b>	<b>25</b>
5.1 Intégration - câblage . . . . .	25
5.2 Validation du système - Tests . . . . .	25
<b>6 Projet Transverse</b>	<b>27</b>
<b>7 Méthode d'organisation</b>	<b>29</b>
<b>8 Conclusion</b>	<b>31</b>
8.1 Bilan . . . . .	31
8.2 Perspective . . . . .	32

# Table des figures

1.1	Banc de test traction . . . . .	3
1.2	Schéma explicatif du banc test traction . . . . .	4
1.3	Cycle d'un test à trois seuils . . . . .	5
2.1	Diagramme pieuvre du système . . . . .	7
2.2	Composition du système automatique . . . . .	8
2.3	Module de sécurité PILZ Pnoz S4 . . . . .	9
3.1	Graphique de risque pour la détermination du PL . . . . .	12
3.2	Système de Sécurité . . . . .	13
4.1	Automate Siemens S7-1200 1214C et Module Siemens SM1234 . . . . .	17
4.2	IHM Siemens TP700 . . . . .	17
4.3	Logiciel de Programmation pour les automates Siemens - TIA Portal . . . . .	18
4.4	PID Siemens 3_Step V2 . . . . .	21
4.5	Système Masse Ressort Amortisseur . . . . .	22
4.6	Oscillation du système en boucle fermée . . . . .	22
4.7	Tableau de détermination des gains via la méthode de Ziegler-Nichols pour un système en boucle fermée . . . . .	23
4.8	Courbe de réponse, en boucle ouverte . . . . .	23
4.9	Tableau de détermination des gains via la méthode de Ziegler-Nichols pour un système en boucle ouverte . . . . .	23
6.1	Constitution du projet MMCM . . . . .	27
6.2	Poisson TSAM . . . . .	28
7.1	Cycle en V . . . . .	29
7.2	Manifeste Agile . . . . .	30

## Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier le chef du pôle mécanique marine de la société Thales de Brest, de m'avoir accueilli au sein de son département.

Je remercie ensuite M. Mahe, mon maître d'apprentissage, Ingénieur Contrôle commande, pour ses conseils avisés et la confiance qu'il m'a accordé tout au long de cette année.

Je remercie également M. Jaulin, mon directeur de formation et tuteur école, Chercheur en Robotique, pour son accompagnement durant ma formation d'ingénieur.

Enfin, je tiens à remercier toute l'équipe de la cellule câble ainsi que l'équipe du programme MMCM de l'entreprise Thales Brest, pour leur accueil et leur disponibilité pendant toute la durée de mon alternance.

Toutes ces personnes ont contribué, par leur disponibilité et leur bonne humeur, à rendre mon stage enrichissant et motivant.

# Introduction

L'arrivée de la robotique et de l'automatisation s'avère être synonyme d'augmentation de l'efficacité, de gain dans la précision obtenue sur des activités routinières, mais aussi d'amélioration des conditions de travail. Les technologies robotiques constituent une main-d'œuvre complémentaire ; bien que parfois non appréciées du grand public qui craint pour son emploi. Ainsi, il s'agit d'un sujet sensible ; qu'il faut prendre avec précautions.

De plus en plus de robots mécaniques à bras articulé sont développés, s'ajoutant aux systèmes embarqués pour apporter leur aide aux hommes dans leurs tâches professionnelles. Cette amélioration du quotidien permet un gain de temps précieux dans les entreprises. De plus, l'automatisation permet d'améliorer la qualité du travail effectué en garantissant une certaine précision et une bonne répétabilité. Alors pourquoi donner une tâche à un homme alors qu'une machine est en mesure de la réaliser de manière plus précise ? Aujourd'hui les machines ne prennent pas la place de l'homme ; elles servent à le pousser à améliorer ses connaissances, et ainsi à être compétent dans de nouveaux domaines dans lesquels les machines ne peuvent pas l'être.

C'est dans cette optique que mon alternance s'inscrit. Mon objectif a été de concevoir un système d'automatisation d'un banc de test permettant de vérifier la conformité de câbles techniques, contenant notamment une armature mécanique devant supporter jusqu'à plusieurs tonnes et dans laquelle de deux à 50 conducteurs et/ou fibres optiques transitent.

Cette année a été divisée en plusieurs parties. Tout d'abord, ont été réalisées la spécification des exigences, puis l'analyse fonctionnelle et physique du système ; pour permettre de choisir en conséquence les outils et composants nécessaires à la bonne réalisation de la problématique. L'étape suivante a été composée de la recherche et la rédaction de solutions pour garantir la sécurité du système d'automatisation. S'en est suivi une phase de programmation d'un automate et d'une Interface Homme Machine (IHM) pour permettre l'automatisation et le choix des paramètres du test. Il a été fait en sorte de conserver les commandes manuelles en parallèle de l'automatisation, pour les besoins de certains tests de câbles. Par la suite se sont succédés l'installation du système, les corrections nécessaires à son bon fonctionnement et les tests fonctionnels pour garantir la conformité aux exigences de la partie automatisation du projet.

Dans ce rapport, un aperçu du contexte de mon stage sera présenté en premier lieu. Puis, l'organisation de ce rapport suivra les différentes étapes du projet détaillées ci-dessus. Finalement, avant de conclure, seront données quelques précisions concernant mon organisation ainsi que le projet auquel j'ai participé pendant que le banc de test était utilisé par les opérateurs.

# Chapitre 1

## Présentation

### 1.1 Présentation de l'environnement de travail

Thales à Brest est un site du groupe Thales ; groupe présent dans 68 pays et notamment présent dans 70 sites en France, répartis sur sept régions. Le groupe exerce dans cinq grands secteurs, qui sont :

- Aéronautique
- Espace
- Transport terrestre
- Identité et Sécurité numériques
- Défense et Sécurité.

Thales à Brest est un site développant des systèmes de patrouille et de surveillance maritime, mais aussi des équipements pour lutter contre la guerre électronique sur terre, en mer ou dans les airs.

Plus particulièrement, mon stage s'est déroulé au sein de l'entité Thales Underwater Systems, qui est spécialisée dans les technologies sonar pour la guerre des mines, ainsi que la lutte anti-sous-marine. L'entreprise intervient autant dans l'élaboration des algorithmes de formation des images sonar à partir des données brutes que dans la conception des engins sous-marins porteurs d'antennes, qu'ils soient autonomes, hélicoptés, tractés ou filoguidés.

Enfin, le service que j'ai intégré est le service PMM (Pôle Mécanique Marine). Il s'agit d'un pôle d'expertise concevant des engins sous-marins ainsi que leurs systèmes embarqués. De ce fait, ce pôle regroupe une multitude de spécialités afin de mener à bien leurs projets : il regroupe des spécialistes en hydrodynamique, mécanique des structures, conception de systèmes, ou encore en contrôle commande.

L'un des projets phares de ce pôle est le projet MMCM (Maritime Mine Counter Measures), en collaboration avec le ministère de la défense britannique, français, ainsi que la direction générale des armées (DGA). Ce projet vise à remplacer les chasseurs de mines actuels par des systèmes à base de drones.

## 1.2 Présentation du projet

### 1.2.1 Le banc de test traction

Mon stage portait sur un banc de test traction. Ce banc sert à tester les câbles, dans des cycles propres à chacun d'eux, par traction mécanique. Chaque câble doit être testé et certifié pour une utilisation précise chez le client.

Le but des tests est d'évaluer la résistance à une traction que les câbles pourront rencontrer dans des situations d'utilisation chez le client. Les câbles sont composés de deux parties : la partie connexion ou communication, qui constitue le cœur du câble, et la partie protection, c'est-à-dire les gaines de protection qui entourent le cœur du câble pour une tenue mécanique afin de pouvoir tracter des poissons (robots) de 10 tonnes à 15 noeuds et à 150 mètres de profondeur. Les tests traction existent afin de garantir que la terminaison du câble ne va pas être endommagée sous la tension mécanique qui lui sera appliquée. La suite du test n'est pas réalisée sur ce banc, mais elle consiste à s'assurer que les câbles de communication ont résisté en vérifiant que des signaux peuvent circuler d'une extrémité à l'autre du câble.



FIGURE 1.1 – Banc de test traction  
*Local Entreprise EIMA - Source : rapport de spécification*

Le banc de test traction est principalement constitué d'un vérin, d'un touret, d'une centrale hydraulique, d'un dynamomètre, d'un coffret électrique et d'une grille de protection.

Le vérin sert à tendre ou détendre un câble. Il est piloté grâce à des boutons, situés sur le coffret électrique, qu'utilisent les opérateurs pour suivre les cycles de tests et ainsi asservir manuellement la tension dans le câble. Une centrale hydraulique permet d'alimenter en huile le vérin pour la compression ou décompression. Pour permettre au piston d'entrer ou de sortir du vérin, une électrovanne est présente dans le circuit hydraulique, permettant ainsi à l'opérateur d'augmenter ou de diminuer la tension sur le câble.

Le touret a pour utilité d'éviter de tirer directement sur le câble, ce qui signifierait que les deux extrémités du câble seraient en tension ; or le but d'un test est de tester une seule tête de câble. Un minimum de trois tours de câble sur le touret est nécessaire pour éliminer cette force sur le reste du câble se trouvant hors du banc.

Le banc de test a été conçu pour pouvoir accueillir des câbles et pouvoir exercer une traction allant jusqu'à 25 tonnes. C'est pourquoi, un dynamomètre pouvant mesurer jusqu'à 25 tonnes a été choisi. Les opérateurs peuvent suivre en direct la tension exercée sur le câble grâce à un afficheur externe : un écran de deux pouces, relié par liaison Wifi au dynamomètre.

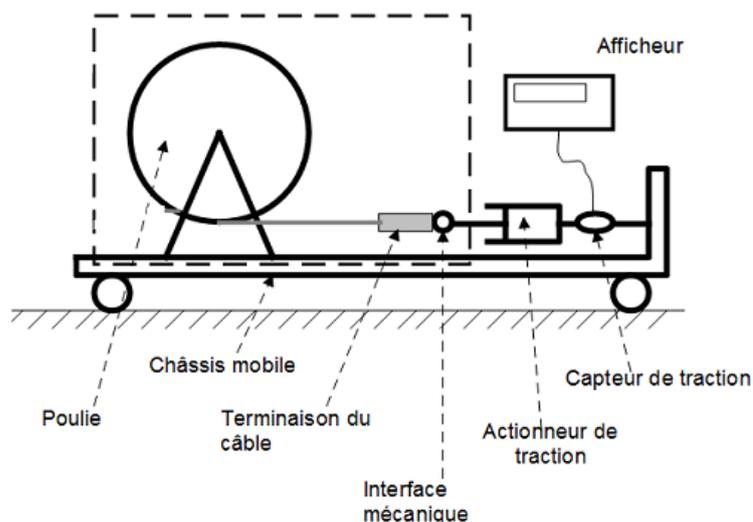


FIGURE 1.2 – Schéma explicatif du banc test traction

Le banc de test répond évidemment aux normes de sécurité permettant de garantir une utilisation maximale sans mettre en danger les opérateurs lors d'un test. Pour cela, il est entouré de grilles qui sont suffisamment éloignées du câble et du vérin, ne permettant donc pas d'introduire les doigts et de se blesser et de protéger les opérateur lors d'une casse éventuelle de la terminaison du câble. Le banc a été certifié par un organisme de certification externe, connu sous le nom APAVE. Un rapport avait alors été rempli afin d'obtenir les certifications européennes et de garantir l'utilisation en toute sécurité du banc.

Un test a une durée moyenne d'une heure. Durant cette heure, l'opérateur doit rester à côté du banc pour vérifier que le câble reste tendu à la bonne tension mécanique. En effet, à cause de l'élasticité des câbles et du caoutchouc de protection mis sur le touret, la tension ne peut être tenue sans ajustement. C'est pour cette raison que l'opérateur doit rester à côté du banc, pour retendre le câble aux tensions indiquées pour le test.

Un test est composé de plusieurs cycles identiques. Chaque cycle est constitué d'un, deux ou trois seuils de tension. Ces seuils de tension doivent être tenus pendant le temps défini dans le document de test. Les paliers de tension doivent être atteints dans un temps précis, qui est défini en fonction de l'utilisation future chez le client. Lors de la descente, pour la fin d'un cycle ou la fin d'un test, un temps est aussi à respecter.

La figure suivante montre le déroulement d'un test quelconque avec les différents temps à prendre en compte lors d'un test.

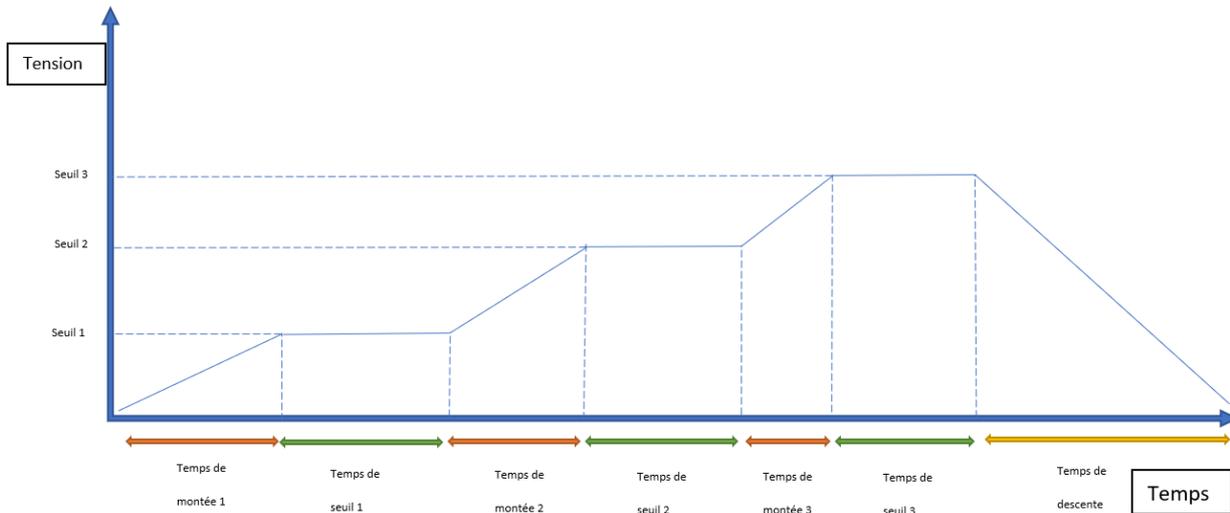


FIGURE 1.3 – Cycle d'un test à trois seuils

## 1.2.2 Cadre du projet d'automatisation

Le projet d'automatisation a été demandé par l'équipe de production dans le but d'améliorer la précision et la répétabilité des tests ; mais aussi dans le but de gagner du temps en permettant aux opérateurs d'effectuer d'autres tâches en parallèle du test. En effet, un test monopolise un opérateur pendant plus d'une heure et le fait de rester appuyé sur les boutons de contrôle du vérin, pour pallier à l'élasticité des câbles, est épuisant pour les opérateurs.

Pour répondre à cette problématique, la solution retenue a été d'utiliser un automate pour la régulation de la tension dans le câble et une Interface Homme Machine pour que l'opérateur donne ses directives à l'automate, mais aussi pour que l'automate informe l'opérateur de l'avancée du test. Pour des raisons de sécurité liées à l'automatisation, une modification du schéma hydraulique du banc ainsi que du schéma électrique ont été nécessaires.

En parallèle, la fonction manuelle du banc a été conservée notamment pour prévenir les cas de panne de la partie automatisation. Cette fonction peut être choisie par l'opérateur grâce à un interrupteur manuel, qui permet une gestion des prises de main du banc.

## Chapitre 2

# Ingénierie Système

Comme dans tout nouveau projet, une des parties les plus importantes a été composée de l'analyse de l'existant et de l'Ingénierie Système. Cette phase a permis de définir et d'appréhender les besoins du système pour n'oublier aucun détail.

L'un des enjeux de ce projet était de partir de l'existant et de conserver le plus de composants et de fonctions possibles. La fonction principale qui a été gardée est la possibilité de revenir en mode manuel pour certains tests, au bon vouloir de l'opérateur. En effet, certains tests nécessitent une intervention humaine ; il était donc important de garder cette fonction. De plus, tous les capteurs et boutons d'arrêt d'urgence déjà présents pour garantir la sécurité ont été conservés ainsi que l'intégralité de la partie mécanique du banc. Les modifications se sont principalement concentrées sur la partie électrique du banc.

J'ai commencé par définir les exigences globales de mon système, qui m'ont amené à la détermination des fonctions principales. Cette partie est très importante car elle permet d'identifier les besoins. Il est donc indispensable qu'elle soit réalisée en collaboration avec les utilisateurs, afin de mener le projet vers un produit final adapté et réalisable. Dans mon cas, les utilisateurs étaient les ingénieurs et les opérateurs en charge du banc de test. J'ai donc organisé plusieurs entrevues et réunions avec eux pour leur exposer mes idées et les comparer avec les leurs.

Une fois cette partie terminée, je me suis concentré sur les exigences plus techniques de mon système, c'est-à-dire les exigences du code de l'automate et de l'IHM. En raison du grand nombre de câbles, qui ne nécessitent pas les mêmes types de tests pour être certifiés, l'automate doit être capable de réaliser plusieurs types de tests. Chaque test doit être paramétré d'une manière précise : l'IHM doit afficher certaines informations à l'opérateur afin d'éviter toute erreur de sa part. Ainsi, une multitude d'exigences doivent être développées pour garantir que la programmation de l'automatisation soit faite sans oublier de détails ou de fonctions qui perturberaient l'utilisation du banc.

Une fois les exigences déterminées, une analyse fonctionnelle a été effectuée, permettant de faire ressortir les fonctions principales du système comme l'automatisation des tests, l'interaction avec l'opérateur, la sécurité, . . . A partir de ces fonctions, des sous-fonctions ont été identifiées pour spécifier le système et ainsi m'aider à déterminer les composants les plus aptes pour réaliser mon système.

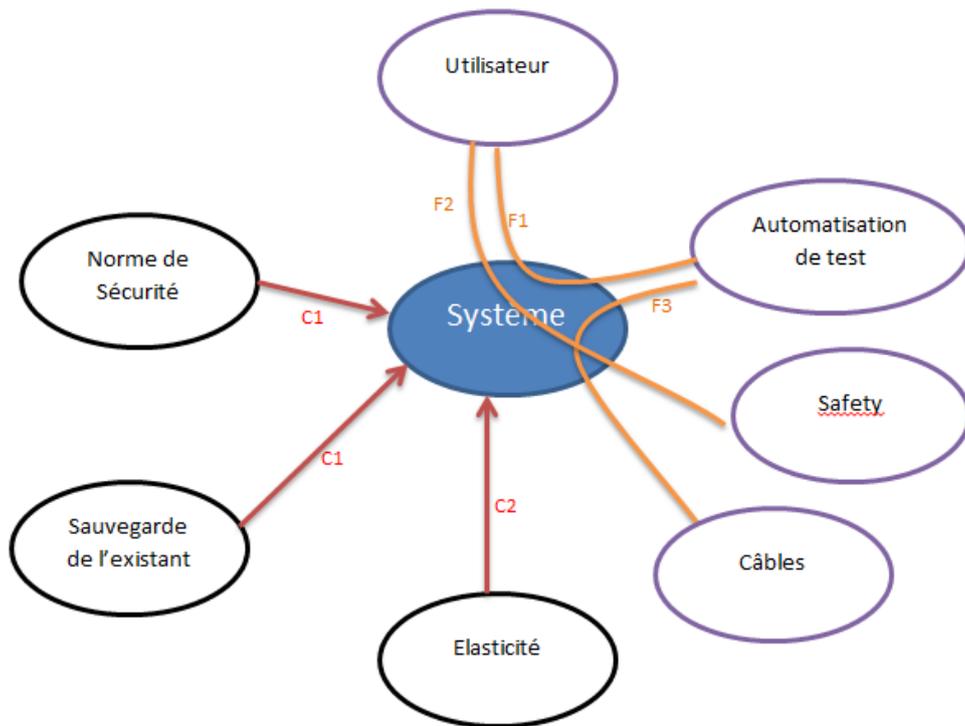


FIGURE 2.1 – Diagramme pieuvre du système

- F1 : Le système doit permettre à l'utilisateur d'automatiser un test.
- F2 : Le système doit permettre à l'utilisateur d'être en sécurité lors d'un test.
- F3 : Le système doit permettre de tester automatiquement tous les câbles nécessaires.
- C1 : Le système doit répondre aux normes de sécurités.
- C2 : Le système doit conserver au maximum les éléments existants du banc.
- C3 : Le système doit palier à l'élasticité des différents câbles.

Grâce aux fonctions déterminées, le choix des composants du système a pu être effectué afin de finaliser l'analyse fonctionnelle.

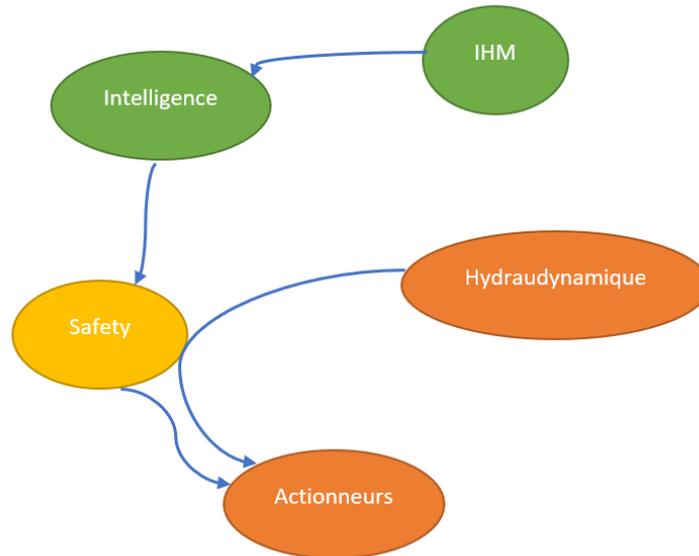


FIGURE 2.2 – Composition du système automatique

## 2.1 Choix du système embarqué

J'ai choisi d'utiliser un Automate Siemens plutôt qu'un autre système embarqué. Plusieurs raisons sont à l'origine de ce choix. D'une part, la facilité de montage dans une armoire électrique a motivé ce choix puisque l'automate Siemens est conçu pour être intégré dans ce genre de configuration. D'autre part, ce choix est justifié par la robustesse, la configuration facile d'entrées et de sorties analogiques, la compatibilité entre automate et IHM, et le fait que les automates Siemens sont conçus pour les systèmes industriels. L'automate choisi est le "S7-1200 CPU 1214C". Ce modèle comporte un nombre suffisant d'entrées et sorties "tout ou rien", ainsi que des entrées analogiques nécessaires au fonctionnement du système.

Cependant, pour contrôler la vitesse du vérin, il faut communiquer par connexion analogique. Comme l'automate choisi ne comprenait pas de sortie analogique, il a été nécessaire d'ajouter un module supplémentaire : le "SM1234".

Pour interfacer avec l'opérateur, j'ai choisi une Interface Homme Machine (IHM) de la même marque que l'automate pour garantir une compatibilité optimale entre les deux appareils. La connexion entre les deux appareils se fait grâce à une connexion Ethernet via le standard de communication PROFINET. Ce dernier utilise les protocoles TCP/IP avec un débit de 100 méga-octets par seconde ; ce qui est le standard de communication dans l'industrie pour l'automatisme.

## 2.2 Choix du module de sécurité

Le module de sécurité est un organe vital du projet ; il sert à garantir une fiabilité extrême sur la sécurité des personnes qui utilisent le système. Il a pour but de gérer les composants faisant partie de la sécurité du système.

Suite à la définition des exigences liées à la sécurité du banc, le module "Pilz PNOZ" a été sélectionné pour endosser ce rôle. Cet organe a la possibilité d'accueillir une double boucle de sécurité permettant ainsi d'augmenter la sécurité du système. Il possède aussi quatre contacts, trois normalement ouverts et un normalement fermé, s'ouvrant ou se fermant lors du désarmement du module Pilz. Ces contacts nous serviront pour avertir l'automate d'un éventuel problème ou encore d'alimenter et/ou couper les fonctions du banc de test, comme par exemple la nouvelle électrovanne de sécurité.

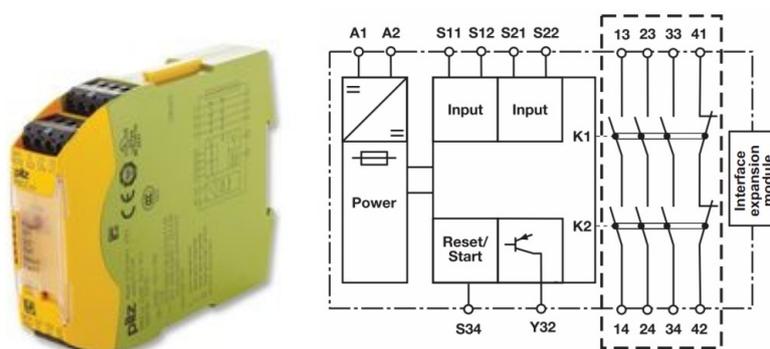


FIGURE 2.3 – Module de sécurité PILZ Pnoz S4

Source : *rs-online.fr*

## 2.3 Choix des actionneurs

Concernant les composants des parties hydrauliques, mesures et électriques, ils ont été identifiés grâce aux exigences et aux caractéristiques nécessaires au fonctionnement du banc. La mise en place de certains des composants nécessitant une expertise technique, des devis ont été réalisés afin de pouvoir choisir la meilleure des prestations en fonction du cahier des charges défini avec les prestataires.

Pour le choix des composants de type électrique, Thales possède un partenariat avec le site de vente de matériel industriel : Radiospare. La totalité des achats ont été faits sur ce site pour faciliter la chaîne d'achat et ainsi réduire le temps de livraison. Concernant les composants spécifiques comme le dynamomètre ou encore l'électrovanne, le passage par des entreprises extérieures a été nécessaire pour obtenir des prestations d'installation ou de calibrage.

Le dynamomètre a été l'élément le plus difficile à trouver. En effet, il n'y a pas beaucoup de dynamomètres avec la résolution souhaitée et la compatibilité mécanique adaptée à notre besoin. La comparaison des caractéristiques techniques et du prix des capteurs sur les quelques devis obtenus a permis de sélectionner le dynamomètre répondant au mieux aux spécifications.

Nous verrons par la suite qu'une électrovanne supplémentaire a été nécessaire afin d'assurer la sécurité des personnes utilisant le banc. Concernant cette électrovanne, nous avons démarché une entreprise pour la prestation d'installation dans le but d'effectuer au mieux la modification.

## 2.4 Fiches de tests

Dans ce projet, le terme "test" est associé à deux éléments distincts. D'une part, il désigne les tests effectués par le banc de test, qui ont pour but de vérifier les exigences des câbles. D'autre part, il désigne les tests relatifs aux exigences du banc de test. Dans cette partie, le terme "test" désignera cette seconde signification, et non les tests réalisés par le banc.

Les tests permettant de vérifier les exigences du banc sont réalisés en suivant des fiches de tests, que j'ai été amené à constituer. Ces fiches de tests permettent de garantir le bon déroulement d'un test du système. Elles assurent, le cas échéant, la conformité et le bon fonctionnement de notre système. Si le client le demande, il est en droit de pouvoir consulter ces fiches pour voir comment a été qualifié le banc.

Les tests se présentent de manière à tester tous les aspects du système, que ce soit l'aspect sécuritaire ou encore l'aspect esthétique. Ils doivent répondre à une exigence définie auparavant. Un test peut également répondre à plusieurs exigences.

A l'issue d'un test, un rapport doit être complété ; il permet de valider la fonction ou non. Si toutes les fonctions sont validées, alors le système sera conforme. Dans le cas où le système n'a pas réussi les tests, une modification sera apportée et la totalité des tests devront être repassés avec le nouveau système comprenant la ou les modifications. Cela permet de s'assurer que la modification n'ait pas engendré d'autres erreurs sur le système.

La réalisation des tests est la toute dernière chose à faire. Cependant, certains tests sont réalisés en amont par simulation afin d'effectuer une première vérification avant l'installation.

## Chapitre 3

# Analyse Safety

Dans toute entreprise, la sécurité reste le point le plus important. Chez Thales, une équipe constituée d'ingénieurs veille à ce que tout l'équipement réponde à des normes de sécurité. Cette équipe porte le nom de cellule SAFETY.

Chaque projet ou évolution doit être validé par cette cellule. Nous avons donc effectué une analyse des aspects de sécurité.

### 3.1 Présentation des niveaux de sécurité

Il existe différents niveaux de sécurité. Il s'agit de niveaux de performance requis pour les fonctions de sécurité des systèmes ; ils sont appelés Performance Levels (PL).

Les PL sont classés de la lettre « a » à la lettre « e », sachant que le PLe est le plus haut niveau de sécurité existant pour un système. Plus le risque est élevé, plus les exigences sont élevées. La classification se base sur trois critères, qui se divisent eux-mêmes en deux, comme le montre le tableau suivant.

Gravité de la lésion (S)
S1 = lésions légères (en général réversibles)
S2 = lésions graves, pouvant être mortelles (en général irréversibles)

Fréquence et / ou durée d'exposition au danger (F)
F1 = exposition rare à fréquente et / ou de courte durée
F2 = exposition fréquente à continue et / ou de longue durée

Possibilité d'éviter le phénomène dangereux (P)
P1 = possible sous certaines conditions
P2 = quasiment impossible

Le calcul du niveau de sécurité requis est basé sur le graphique de risque ci-dessous.

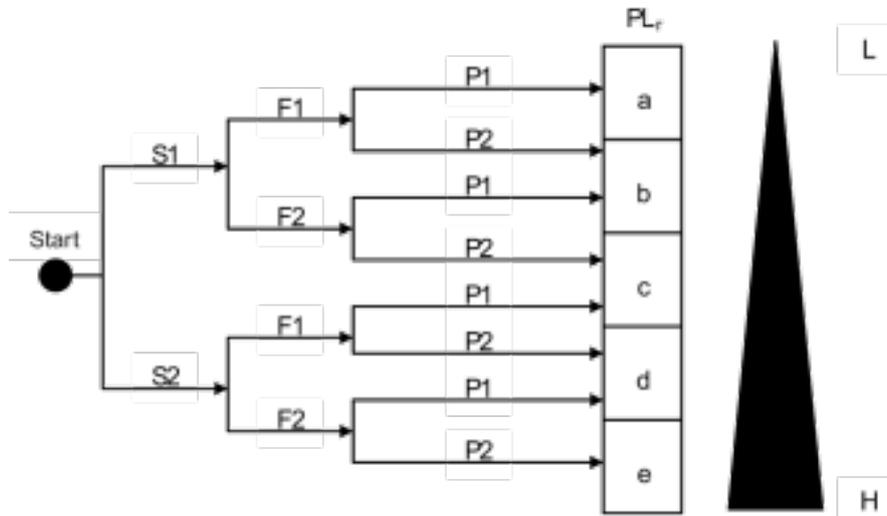


FIGURE 3.1 – Graphique de risque pour la détermination du PL

Le lecteur pourra se référer à la documentation<sup>1</sup> pour plus d'informations.

Pour atteindre le niveau de PL requis, seuls les composants concernant la sécurité du système sont à prendre en considération.

### 3.2 Application au système

En effectuant l'analyse des aspects de sécurité, nous avons pu remarquer que lors d'un arrêt d'urgence (ouverture d'une porte ou pression du bouton d'arrêt d'urgence), le câble à l'intérieur du banc restait tendu à la tension en cours lors de l'arrêt d'urgence ; ce qui signifie que la pression dans le vérin restait inchangée. Ceci a suscité une grosse interrogation sur la sécurité des opérateurs dans le cas où ils entreraient dans l'enceinte du banc au cours d'un test. J'ai pu constater personnellement le problème identifié lors d'une rencontre avec des techniciens en train d'utiliser le banc pour que je puisse voir son utilisation actuelle. Le câble pouvant se rompre en présence d'opérateurs, il était donc nécessaire de trouver une solution permettant de décharger la tension dans le vérin lors d'un arrêt d'urgence. La solution envisagée devrait permettre au système d'atteindre un niveau de sécurité suffisant.

Dans un premier temps, il a été nécessaire de déterminer le niveau de PL requis pour notre système. Dans notre cas, un accident serait provoqué par un câble qui se romprait avec un opérateur dans l'enceinte du banc. Un accident entraînerait donc de graves blessures et pourrait causer la mort. Par conséquent, le chemin correspondant sur le graphique de risque est "S2".

L'exposition à ce cas de figure est peu fréquente, puisque, la plupart du temps, les opérateurs n'entrent dans l'enceinte du banc que lorsque le test est fini. Le câble n'est donc plus tendu lors de leur entrée. Ainsi, cela coïncide avec le chemin "F1".

Concernant la possibilité d'éviter ce cas de figure, elle est presque impossible puisque nous ne pouvons pas savoir quand un câble va se rompre. Ou encore, il est impossible d'esquiver un câble qui vient de se rompre, la vitesse étant trop importante. Le chemin correspondant est donc "P2".

Ainsi, le niveau de sécurité requis pour notre système est le niveau "PLd", qui est le deuxième niveau de sécurité le plus exigeant.

Pour atteindre ce niveau de PL, nous avons réalisé une étude visant à étudier l'architecture du circuit hydraulique du banc actuel ; tout en gardant en tête l'étude des aspects de sécurité effectuée.

J'ai donc étudié le schéma hydraulique afin de le comprendre. Cependant, le banc n'ayant pas été conçu par Thales, j'ai dû réaliser une étude pour reconstituer l'organisation et la connexion de la centrale hydraulique ainsi que le schéma électrique du banc. Après la reconstitution des schémas, j'ai compris qu'il manquait un élément dans le circuit hydraulique pour permettre de maintenir le système en état sûr.

Suite à cette étude, nous avons alors décidé d'ajouter une électrovanne qui, lorsqu'elle n'est pas alimentée, permet de ne plus avoir de pression dans le vérin. Cette électrovanne est alimentée par le module de sécurité (Pilz PNOZ), comme indiqué sur la figure 3.2. Lorsque la chaîne d'entrée du PILZ est coupée, le module de sécurité reçoit un signal et coupe l'alimentation de l'électrovanne. Ainsi, cette dernière, non alimentée, retourne dans sa position de repos, ce qui décharge la pression dans le circuit.

De plus, cette fonction n'est pas contrôlée par l'automate, mais uniquement par un câblage hardware, ce qui permet de limiter les sources d'erreur et donc d'augmenter la sécurité du système.

J'ai ensuite soumis cette idée et le schéma associé à un ingénieur en hydraulique pour obtenir une confirmation de la faisabilité de la solution.

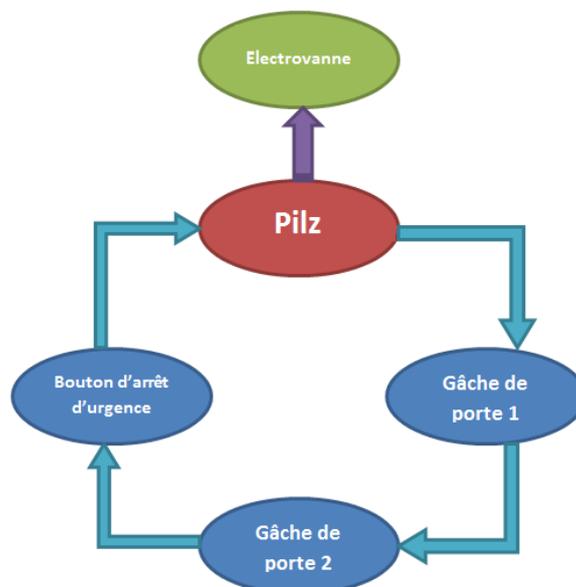


FIGURE 3.2 – Système de Sécurité

La boucle de sécurité (en bleu sur la figure ci-dessus) est constituée d'un bouton d'arrêt d'urgence ainsi que de gâches de sécurité sur les poignées de portes. Nous avons décidé d'améliorer la boucle de sécurité existante grâce à la mise en place d'une double boucle de sécurité (installation requise pour atteindre le PLd). Ainsi, dans le nouveau système, la boucle comporte deux câbles. A savoir qu'une redondance dans les signaux est toujours plus sécurisée dans le sens où si un signal ou un câble est en défaut sur la boucle, la comparaison entre les deux câbles permet de détecter un court-circuit et donc de sécuriser le système. La double boucle de sécurité est donc un moyen d'augmenter le niveau de PL et de rendre notre système plus sécurisé.

Il a ensuite été nécessaire de vérifier que le niveau de sécurité requis était atteint. Pour cela, il faut prendre en considération les éléments mécaniques qui concernent le système de sécurité. Il faut regarder leurs niveaux de PL, s'ils ont été définis par le constructeur ; ou alors les définir soi-même à l'aide des data-sheets (fiches de données techniques relatives aux composants). La durée de vie des composants est aussi prise en compte lors de ce calcul. Plus un composant durera longtemps, plus il sera sûr.

L'étape suivante a été la soumission de l'analyse effectuée à la cellule Safety. Cette dernière a créé un document officiel après avoir vérifié et approuvé l'analyse. Ce document démontre que les risques potentiels du banc de test sont réduits au maximum, en attestant que les solutions apportées sont adaptées et que le niveau de sécurité (niveau de PL) requis est atteint par le banc. Ce document sera stocké dans la base de données avec tous les autres fichiers correspondant au projet. A chaque révision du banc de test, un document de ce type est créé et conservé afin de garder en mémoire les différentes évolutions.

Enfin, il serait imprudent de faire approuver la sécurité de chaque projet seulement en interne dans une entreprise. C'est pour cette raison qu'une entreprise extérieure doit intervenir pour expertiser le banc de test. Elle doit rédiger, elle aussi, un rapport de sécurité. Cette entreprise accompagne les entreprises dans leur maîtrise des risques techniques et humains à travers une inspection du système en question. Cette entreprise est l'APAVE. Le document d'analyse que j'ai réalisé a servi à accompagner l'APAVE dans son analyse du banc de test. Après son expertise, cette entreprise nous a fourni un document écrit prouvant que notre système est certifié sécurisé et prêt à l'emploi.

# Chapitre 4

## Développement du système

Dans cette partie, je décris une grande étape de ce projet, liée au développement du système. Elle est constituée du choix des composants de l'armoire électrique, de la réalisation du schéma électrique, de la partie programmation, ainsi que de la partie régulation.

### 4.1 Choix des composants de l'armoire électrique

Les composants de l'armoire électrique permettent de répondre aux exigences ; une combinaison de plusieurs éléments permet de créer des fonctions du système. L'armoire électrique est composée de composants électriques tels qu'une alimentation, des relais, des boutons et des mécanismes de sécurité.

L'alimentation a été choisie en fonction de la puissance de consommation des autres éléments de l'armoire.

J'ai déterminé la puissance minimale à délivrer par l'alimentation en prenant en compte les composants qui allaient être ajoutés pour l'automatisation du banc de test. En effet, nous avons besoin d'une puissance de :

- Automate = 30 W
- Ecran = 12 W
- Pilz = 2.5 W
- Electrovanne = 30 W
- Relais = 2 W \* 5 = 10 W

La puissance nécessaire pour l'automatisation est donc de 84.5 W. A cela il faut ajouter une marge de 40% de puissance, ce qui amène à une puissance de 118.3 W.

De plus, en considérant l'alimentation du système précédent délivrant une puissance de 72W, il faut une alimentation délivrant une puissance minimum de 190.3 W.

Par conséquent, pour délivrer cette puissance, nous avons choisi de retenir une alimentation de 240 W.

La tension de l'alimentation a été déterminée à 24 volts en fonction des composants principaux du système dont l'IHM, l'automate ou encore le module de sécurité, s'alimentant à la même tension.

Les relais ont été sélectionnés en fonction de leur nombre de contacts et la nature de ces derniers : contacts normalement ouverts ou normalement fermés. Les relais ainsi que le reste des composants ont été choisis en fonction de l'alimentation des éléments principaux du système, c'est-à-dire 24 volts d'alimentation.

Les mécanismes de protection sont des disjoncteurs magnéto-thermiques. Ils permettent de protéger le circuit contre des surintensités ou des courts-circuits, en coupant le courant dans celui-ci. Le dispositif magnétique lutte contre les courts-circuits alors que le dispositif thermique permet de détecter les surintensités entraînant une surchauffe des câbles électriques. Ils permettent d'isoler la partie au niveau de laquelle se trouve l'anomalie.

## 4.2 Schéma électrique

Après avoir effectué le choix des composants et des références correspondantes, je me suis intéressé à la réalisation du schéma électrique. J'ai tout d'abord commencé par effectuer de la rétro-ingénierie sur l'ancien schéma afin de comprendre l'architecture et de voir les aménagements possibles.

Après avoir identifié tous les composants et leur intérêt dans le schéma électrique, j'ai commencé à modifier ce schéma afin de le rendre fonctionnel pour mon système. Pour cela, j'ai utilisé un logiciel de CAO (Conception Assistée par Ordinateur) pour les schémas électriques, se nommant "SEE Electrical". Après une prise en main rapide du logiciel, j'ai réalisé le schéma électrique de la nouvelle installation, comprenant l'automate, l'IHM, le nouvel organe de sécurité ainsi que tous les éléments nécessaires à la coordination des signaux de puissance et de commande.

Une fois le schéma réalisé, j'ai pu commencer à réaliser la programmation de l'automate et de l'IHM.

## 4.3 Programmation

Comme expliqué précédemment, nous avons choisi un automate Siemens avec un module supplémentaire pour avoir une sortie analogique. L'automate est le Siemens S7-1200 CPU 1214C DC/DC/RLY, avec son module Siemens SM1234.

Une IHM tactile a été choisie pour éviter l'encombrement qui serait causé par un clavier et une souris supplémentaires. Sa taille de sept pouces est suffisante pour l'affichage des informations dont nous avons besoin. L'IHM TP700 est de la marque Siemens.



FIGURE 4.1 – Automate Siemens S7-1200 1214C et Module Siemens SM1234  
*Source : automation24.fr*



FIGURE 4.2 – IHM Siemens TP700  
*Source : rexxer.fr*

La programmation de l'automate et de l'IHM a été réalisée sur l'environnement de développement "TIA Portal". Cet IDE a été développé par l'entreprise Siemens et a été conçu pour les automates Siemens.

Le langage que j'ai utilisé pour la programmation de l'automate est le Ladder. Il s'agit d'un langage de programmation graphique qui est composé d'une séquence de contacts traduisant l'état logique du système. Ce langage permet de traduire facilement et rapidement l'état du signal entre les entrées et les sorties de l'automate.

Comme tout IDE, il permet d'écrire, de compiler et de téléverser le code dans le processeur du système. Siemens a développé cette interface pour faciliter l'accès et la compréhension de leurs systèmes, ce qui rend la prise en main rapide avec une documentation détaillée.

Pour plus d'informations sur l'IDE TIA Portal et la programmation sur automate Siemens, le lecteur pourra se référer à la documentation<sup>2</sup>.

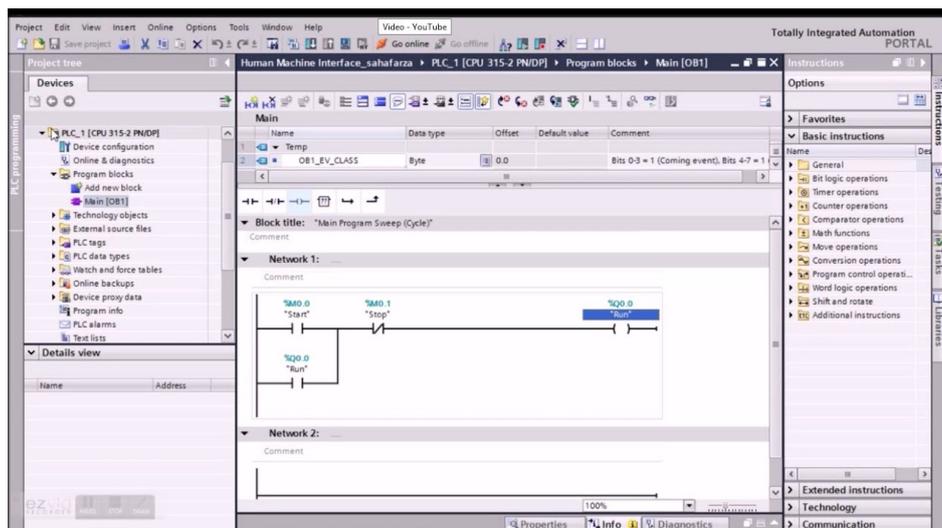


FIGURE 4.3 – Logiciel de Programmation pour les automates Siemens - TIA Portal

Concernant la programmation de l'IHM, il a suffi de placer des boutons et de les paramétrer avec les valeurs adéquates pour établir la communication entre l'IHM et l'automate. Pour faciliter le travail des opérateurs, les données d'un test seront stockées directement sur l'IHM qui possède une mémoire interne. L'enregistrement se fait grâce à un code en VBS (Visual Basic Studio), interne à l'IHM, permettant la création d'un fichier de type "CVS" (fichier Excel) qui regroupe les informations principales d'un test :

- Date et heure du test
- Nom de l'opérateur
- Nom du câble
- Tensions à atteindre dans le câble aux différents seuils
- Temps des seuils
- Données du test : tension mécanique en fonction du temps.

L'enregistrement n'est pas permanent, il est activé lors du démarrage d'un test. Il se fait en mode manuel ou en mode automatique.

La mémoire interne étant de faible capacité, la réalisation d'un script permettant de supprimer les enregistrements les moins récents a été nécessaire. Si le nombre de fichiers dépasse la limite de dix fichiers en mémoire, le fichier le plus vieux sera supprimé. La méthode utilisée est donc la méthode "First In First Out". La suppression se fait lors du démarrage d'un test, puisque le démarrage implique la création d'un fichier et donc la suppression éventuelle du fichier le plus vieux.

Un autre script réalisé permettra à l'opérateur de transférer les fichiers des tests de l'IHM sur une clé USB. Un simple bouton activera un programme allant chercher le dossier en question sur l'IHM et le copiant sur la clé.

## 4.4 Régulation

Pour qu'une tension soit tenue dans le câble de manière optimale, j'ai utilisé un régulateur PID (Proportionnel Intégral Dérivé). Il permettra de compenser lui-même l'élasticité du câble et de son support dans le temps.

### 4.4.1 Choix de la régulation

#### Théorie

Le régulateur PID est un système rétroactif, la valeur en sortie du régulateur est comparée à une valeur seuil mise en consigne. Si une différence est détectée, une correction sera calculée et appliquée au signal de sortie pour que cette valeur se rapproche de la valeur de consigne. A la fin de la correction, la valeur de sortie est à nouveau mesurée et il y a une nouvelle correction si besoin.

Le « P » de proportionnel correspond au facteur de correction lié à l'ampleur de la différence entre la consigne et la valeur de sortie, qui est donc la valeur mesurée. La consigne à ce stade est :

Équation en fonction du temps :

$$\text{Consigne}(t) = K_p \cdot \epsilon(t) \quad (4.1)$$

Équation de Laplace :

$$\text{Consigne}(p) = K_p \cdot \epsilon(p) \quad (4.2)$$

Plus le gain  $K_p$  est grand, plus la réponse du système sera grande aussi. Cependant, un gain sur-dimensionné entraînera la divergence du système.

Le « I » d'intégral résout le problème du proportionnel. Ce facteur prend en compte l'addition de l'erreur. Plus la différence entre la consigne et la valeur mesurée persiste dans le temps, plus le facteur sera grand. La prise en compte de ce facteur ajoute un terme intégral à l'équation de la consigne et permet d'annuler l'erreur statique.

Équation en fonction du temps :

$$\text{Consigne}(t) = K_p \cdot \epsilon(t) + K_i \cdot \int_0^t \epsilon(x) dx \quad (4.3)$$

Équation de Laplace :

$$\text{Consigne}(p) = K_p \cdot \epsilon(p) + K_i \cdot \frac{\epsilon(p)}{p} \quad (4.4)$$

Plus le gain  $K_i$  est élevé, plus l'erreur statique sera corrigée.

Le « D » de dérivé a pour but de corriger les oscillations de la régulation en se basant sur le taux de changement en cours. Ce facteur atténue la correction au fur et à mesure que la valeur mesurée se rapproche de la valeur de consigne. Il anticipe donc l'approche de la valeur et évite les oscillations. Ce facteur ajoute un terme dérivé à l'équation de la consigne, qui devient ainsi :

Équation en fonction du temps :

$$Consigne(t) = K_p \cdot \epsilon(t) + K_i \cdot \int_0^t \epsilon(x) dx + K_d \cdot \frac{d}{dt} \epsilon(t) \quad (4.5)$$

Équation de Laplace :

$$Consigne(p) = K_p \cdot \epsilon(p) + K_i \cdot \frac{\epsilon(p)}{p} + K_d \cdot p \cdot \epsilon(p) \quad (4.6)$$

Le lecteur pourra se référer à la documentation *Automatique pour la robotique*<sup>3</sup> pour plus d'informations.

## Application

Dans notre cas, nous avons utilisé un PID pour les raisons suivantes :

- Un régulateur « proportionnel » n'aurait pas été suffisant car il se base sur la différence avec la valeur de la consigne. Or, plus la différence tend vers zéro, plus la correction va aussi tendre vers zéro et nous voulons avoir une tension dans le câble correspondant à la valeur de paramétrage du test.
- Un régulateur « proportionnel intégral » crée des dépassements de consigne dus au retard de réponse à la correction, ce qui entraîne parfois des oscillations. Les oscillations pourraient endommager le câble. De plus, la certification du banc auprès du client doit correspondre à une courbe lisse qui correspond à l'utilisation théorique du câble par le client.

En choisissant un régulateur « proportionnel intégral dérivé », nous pouvons diminuer ces oscillations pour s'approcher au mieux de la valeur de tension seuil.

Deux types d'approches sont possibles pour déterminer la valeur des coefficients  $K_p$ ,  $K_i$  et  $K_d$  : l'approche par modélisation du système ou l'approche par expérimentation.

#### 4.4.2 Mise en place de la régulation

Siemens via TIA Portal propose une régulation PID intégrée pour la régulation d'électrovannes hydrauliques. De ce fait, j'ai utilisé le bloc optimisé à cet effet pour la régulation à chaque étape du test. Les valeurs de références ainsi que la valeur de mesure prise par le bloc de régulation sont actualisées en même temps que le test avance dans le temps.

Pour la partie montée et descente en tension, comme il faut respecter un temps défini, j'ai utilisé une astuce qui consiste à diviser le large palier de temps en 100 petits paliers. Chaque petit palier sera maintenu durant un temps égal au temps du palier divisé par 100. Ainsi, la tension dans le câble évoluera de manière à suivre au mieux la courbe théorique.

L'équation du PID proposée par Siemens est la suivante :

$$\Delta y = K_p \cdot s \left[ (b \cdot w - x) + \frac{1}{T_i \cdot s} (w - x) + \frac{T_D \cdot s}{a \cdot T_D \cdot s + 1} (c \cdot w - x) \right] \quad (4.7)$$

Avec :

- $\Delta y$  Valeur de réglage de l'algorithme PID
- $K_p$  Gain proportionnel
- $s$  Opérateur de Laplace
- $b$  Pondération de l'action P
- $w$  Consigne
- $x$  Mesure
- $T_i$  Temps d'intégration
- $a$  Coefficient de l'action par dérivation (action par dérivation  $T1 = a \times T_D$ )
- $T_D$  Temps de dérivation
- $c$  Pondération de l'action D

Le schéma associé est le suivant :

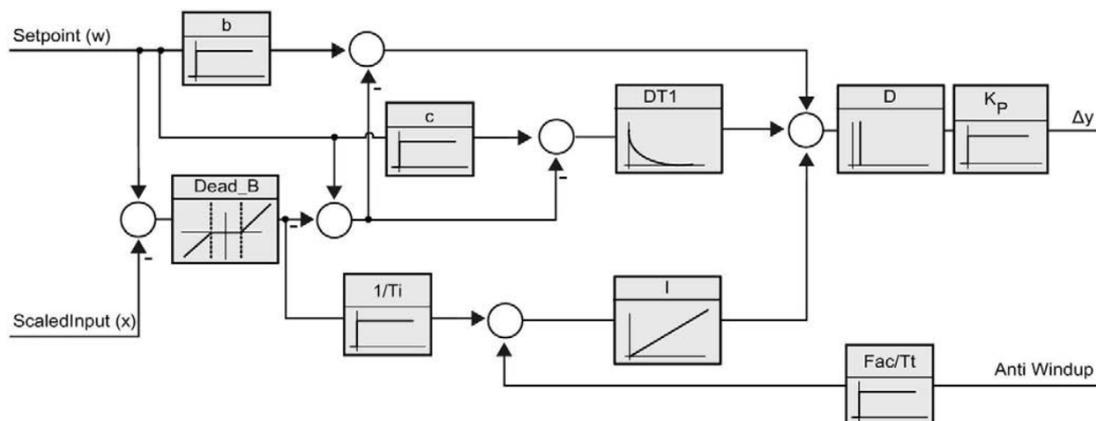


FIGURE 4.4 – PID Siemens 3\_Step V2

On remarque bien les trois coefficients à régler afin de garantir une régulation la plus lisse possible. Pour plus de détails concernant la régulation offerte par le bloc de programmation, le lecteur peut se référer à la littérature de référence<sup>4</sup>.

La régulation possède un système anti-windup. En cas de saturation du système, il permet de bloquer le correcteur intégrateur de notre régulation proportionnelle intégrale dérivée.

L'étape suivante a été de régler les différents gains que comporte la régulation PID : gain proportionnel, gain intégrateur et gain dérivé.

Pour le réglage des gains, j'ai, dans un premier temps, essayé de modéliser de manière très simple le système. Le système comprenait un ressort, jouant le rôle du câble et du touret, une masse, correspondant à la masse du dynamomètre et du câble, et un amortisseur, pour jouer le rôle du vérin. J'ai demandé à un mécanicien d'estimer la raideur d'un câble  $K$ , la masse du câble ajoutée à la masse du dynamomètre  $M$  et le coefficient d'amortissement  $f$  du vérin.

Voici la fonction du mouvement du système :

$$\ddot{x} + 2.\delta.\dot{x} + \omega_0^2.x - \omega_0^2.a.\cos(\omega.t) = 0 \text{ avec } \delta = \frac{f}{2.M} \text{ et } \omega_0 = \sqrt{\frac{K}{M}} \quad (4.8)$$

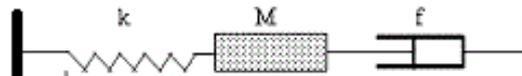


FIGURE 4.5 – Système Masse Ressort Amortisseur

Je voulais utiliser la méthode par expérimentation avec l'approche de Ziegler-Nichols (pour plus d'informations, se référer à la documentation de référence<sup>5</sup>). Cette méthode est réalisable soit en boucle fermée, soit en boucle ouverte.

Concernant la méthode en boucle fermée, son but est de fixer le système dans un état d'oscillation constant (dans sa limite de stabilité) pour définir les coefficients. Pour cela, il faut mettre les coefficients  $K_d$  et  $K_i$  à zéro, puis augmenter  $K_p$  au maximum pour obtenir un système avec des oscillations non amorties et non amplifiées. A partir du tableau défini par Ziegler-Nichols, il suffit ensuite de déterminer les valeurs des gains du système en boucle fermée, avec  $T_c$  la période des oscillations en secondes.

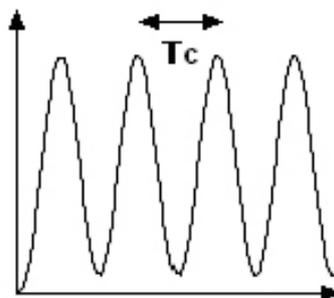


FIGURE 4.6 – Oscillation du système en boucle fermée

Régulateur	$K_p$	$T_i$	$T_d$
<b>P :</b> $R(p) = K_p$	<b>0.5 <math>K_p \max</math></b>	\	\
<b>PI :</b> $R(p) = K_p(1 + \frac{1}{T_i p})$	<b>0.45 <math>K_p \max</math></b>	<b>0.83 <math>T_c</math></b>	\
<b>PID :</b> $R(p) = K_p(1 + T_d p + \frac{1}{T_i p})$	<b>0.6 <math>K_p \max</math></b>	<b>0.5 <math>T_c</math></b>	<b>0.125 <math>T_c</math></b>

FIGURE 4.7 – Tableau de détermination des gains via la méthode de Ziegler-Nichols pour un système en boucle fermée

A noter que  $T_i = \frac{K_p}{K_i}$  et  $T_d = \frac{K_d}{K_p}$ .

En boucle ouverte, la méthode de Ziegler-Nichols se base sur l'enregistrement de la réponse indicielle du système sans le régulateur. Sur cet enregistrement, on trace la tangente à la courbe de réponse au point d'inflexion et, après avoir mesuré les valeurs nécessaires identifiées sur le schéma suivant, il suffit de déterminer les gains du régulateur.

On notera :

- $T_u$  : point d'intersection entre l'axe des abscisses et la tangente
- $T_a$  : le temps que la tangente met à monter
- $K : \frac{\Delta y}{E}$ , avec  $E$  l'amplitude du saut appliqué en entrée

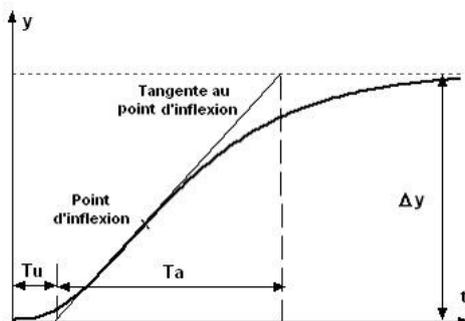


FIGURE 4.8 – Courbe de réponse, en boucle ouverte

Régulateur	$K_p$	$T_i$	$T_d$
<b>P :</b> $R(p) = K_p$	$\frac{T_a}{T_u K}$	\	\
<b>PI :</b> $R(p) = K_p(1 + \frac{1}{T_i p})$	$\frac{T_a 0.9}{T_u K}$	<b>3.33 <math>T_u</math></b>	\
<b>PID :</b> $R(p) = K_p(1 + T_d p + \frac{1}{T_i p})$	$\frac{T_a 1.2}{T_u K}$	<b>2.0 <math>T_u</math></b>	<b>0.5 <math>T_u</math></b>

FIGURE 4.9 – Tableau de détermination des gains via la méthode de Ziegler-Nichols pour un système en boucle ouverte

Mon but dans cette approche était de faire valider, par un ingénieur mécanicien, la faisabilité du réglage par rapport à cette modélisation.

Cependant, le système était très complexe ; il ne se restreignait pas aux éléments que j'avais définis auparavant, mais à une multitude d'autres facteurs à prendre en compte comme la raideur du câble et celle du touret, le nombre de tours de câble sur le touret, les caractéristiques du vérin ou encore l'ancrage du vérin.

Autant de facteurs augmentant la complexité du système ; par conséquent cela devait constituer un sujet de stage à part entière. J'ai donc dû laisser cette approche de côté pour me concentrer sur une autre méthode : la méthode de réglage via des expérimentations.

Pour cela, nous avons demandé à la cellule qui crée les câbles de nous permettre d'utiliser des câbles afin de réaliser nos tests de réglage. Plusieurs câbles ont été utilisés pour régler le PID : un câble rigide composé de plusieurs élingues, un câble moyennement élastique et un câble avec une élasticité élevée. La différence d'élasticité permettra d'affiner le réglage des coefficients pour permettre la polyvalence de la régulation.

Après plusieurs jours d'essais de configurations, le PID a pu être réglé pour une régulation optimale.

# Chapitre 5

## Intégration et Tests

### 5.1 Intégration - câblage

Lors de la mise en place du câblage électrique, j'ai supervisé le travail de l'opérateur chargé de câbler les fils dans le boîtier électrique du nouveau système.

La supervision de travaux électriques nécessite une habilitation pour garantir la sécurité ainsi que le bon déroulement des travaux. Pour réaliser cette mission, j'ai donc dû passer une « habilitation électrique » de trois jours à l'UIMM (Union des Industries et Métiers de la Métallurgie) de Brest. Durant cette formation, j'ai pu apprendre les gestes nécessaires pour garantir une sécurité maximale lors de travaux électriques en basse tension. A la fin de cette habilitation, j'étais alors habilité à diriger des travaux hors tension, à manipuler près de pièces nues sous tension et à pratiquer des essais sous tension pour la détection de pannes ou la vérification de branchements.

Mon rôle était donc de garantir que l'opérateur travaille dans de bonnes conditions et surtout qu'il soit en sécurité (port des équipements de protection individuels si nécessaire, outillage conforme aux normes, balisage, ordres techniques respectés). J'étais présent pour répondre à ses questions sur le câblage. Pour l'aider et accélérer son travail, j'ai réalisé des documents de protocoles ou des schémas clairs afin de l'aiguiller dans les choix qu'il avait à faire, notamment pour le placement des composants dans l'armoire, le dimensionnement et l'emplacement de perçages, la détection des câbles à enlever et/ou adapter.

### 5.2 Validation du système - Tests

Les tests ont été effectués après la certification obligatoire de la sécurité du système par une entreprise spécialisée. En effet, aucune utilisation n'est possible tant que le système n'a pas été certifié totalement sécurisé pour les personnes l'utilisant. Dans notre cas, l'entreprise APAVE a certifié la conformité du banc de test.

Lors de la phase d'ingénierie système, j'ai réalisé des fiches de tests permettant de garantir le bon déroulement d'un test du système. Elles assurent, le cas échéant, la conformité et le bon fonctionnement de notre système.

Les tests réalisés doivent répondre à une exigence définie auparavant. Un test peut aussi répondre à plusieurs exigences.

A l'issue d'un test, un rapport devra être rempli par le testeur pour confirmer le bon fonctionnement du système. Dans le cas d'une erreur de fonctionnement, une modification sera apportée et la totalité des tests devront être repassés avec le nouveau système. Cela permet de s'assurer que la modification n'ait pas engendré d'autres erreurs sur le système. Chaque erreur rencontrée doit faire l'objet d'un rapport afin d'en comprendre l'origine et d'y apporter des solutions.

## Chapitre 6

# Projet Transverse

Le banc de test traction étant un banc de test très utilisé, l'intervention sur ce dernier n'était pas toujours possible.

J'ai alors eu l'occasion de travailler sur le projet de MMCM (Maritime Mine Counters Measures), relatif à la guerre des mines. Le projet est en collaboration avec le ministère de la défense britannique, français, ainsi que la direction générale des armées (DGA). Il regroupe une flotte de deux bateaux autonomes avec plusieurs systèmes embarqués tels que le TSAM ou un ROV.

Mon travail portait sur le robot TSAM (Towed Synthetic Aperture Modular), qui est un robot tracté par un bateau autonome, contenant un sonar de lutte contre les mines. Ce sonar permet de récupérer des images à très haute résolution pour la détection et la classification des mines sous-marines. Le robot TSAM actuel est la cinquième génération de ce type de robots. Il s'agit donc d'un système en perpétuelle amélioration et innovation.

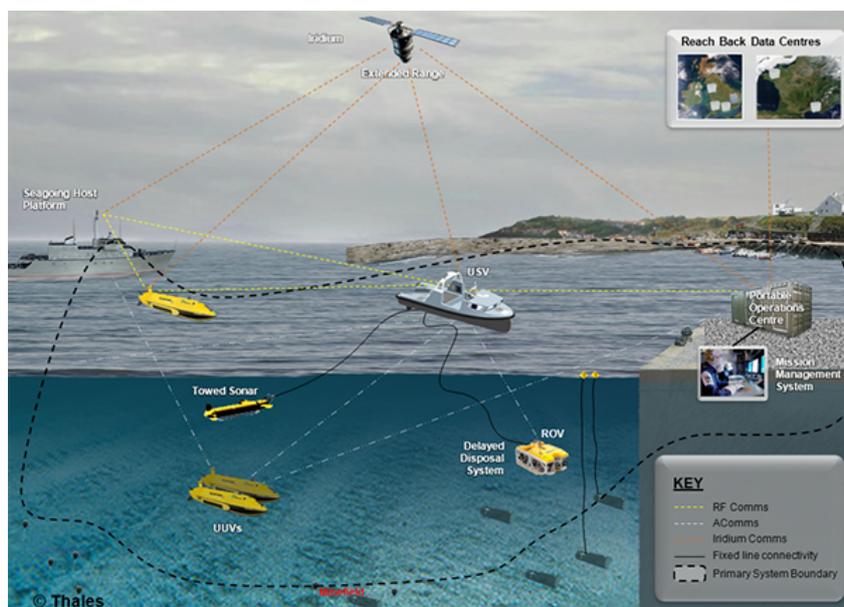


FIGURE 6.1 – Constitution du projet MMCM  
Source : *thalesgroup.com*

En raison d'une amélioration future visant à réduire l'encombrement à l'intérieur de ce robot, à réduire les coûts de production et à prévenir l'obsolescence, le fusionnement de deux entités électro-mécaniques est envisagé. Un ré-agencement des câbles devra être effectué. Il faudra donc refaire le câblage et optimiser la place et l'environnement dans la nouvelle architecture.



FIGURE 6.2 – Poisson TSAM  
*Source : letelegramme.fr*

Une partie importante du travail a consisté à faire de la rétro-ingénierie afin de prendre en main ce système complexe. J'ai pris connaissance des schémas électriques de l'architecture actuelle afin de séparer en blocs distincts les différents éléments qui composent l'électronique du TSAM. J'ai ensuite repris ces schémas actuels afin de les modifier pour en faire une version évoluée.

Puis, j'ai proposé une nouvelle architecture d'interconnexion et de câblage qui servira à démontrer l'importance de ce changement avec les améliorations qui seront faites. Mes propositions pour ce nouveau câblage seront utilisées pour le développement du nouveau système.

## Chapitre 7

# Méthode d'organisation

Afin d'avancer le plus rapidement possible dans le projet et à privilégier une communication régulière avec les ingénieurs et opérateurs du banc de test. Je me suis rapproché de la méthode d'organisation AGILE, tout en gardant le schéma de projet d'un cycle en V. Ainsi, dans la réalisation du projet, je me suis basé sur le cycle en V, qui est constitué de plusieurs étapes :

- Ingénierie Système avec définition des exigences, définition de l'architecture fonctionnelle et de l'architecture physique,
- Partie programmation,
- Partie IVVQ (Intégration Vérification Validation Qualification).

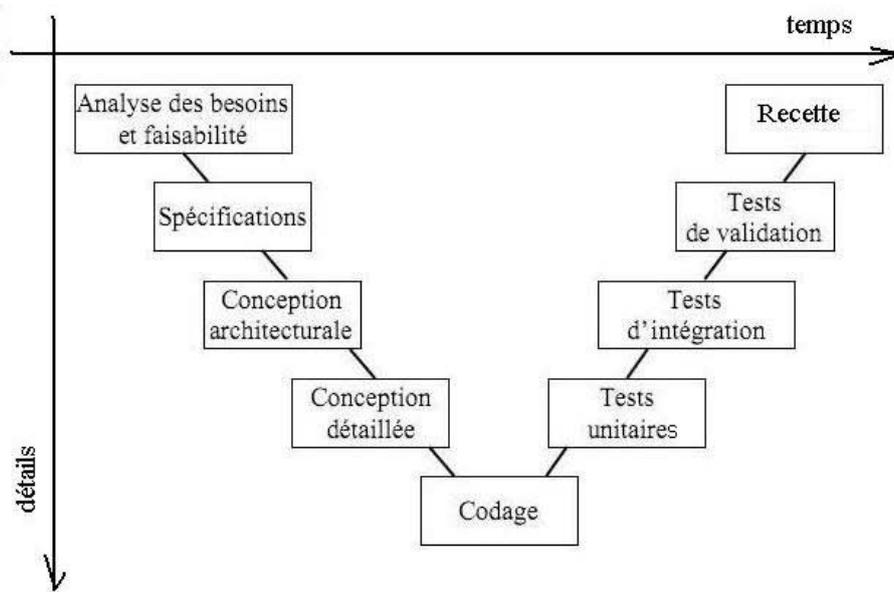


FIGURE 7.1 – Cycle en V

Cependant, dans l'organisation de mon travail, le retour vers les ingénieurs et opérateurs se porte vers le manifeste AGILE. Contrairement au cycle en V, le manifeste AGILE permet de donner plus de visibilité au client et permet ainsi l'évolution de son idée durant la phase de conception et de développement. De ce fait, le produit final correspond mieux aux attentes.

J'ai donc essayé d'allier la méthode d'organisation technique du cycle en V avec le manifeste AGILE utilisé pour la communication. J'ai principalement travaillé avec des «sprints» d'une semaine avant de faire des retours aux ingénieurs et opérateurs. Un «sprint» représente un moment de travail durant lequel il n'y a pas de rendu au client et durant lequel l'avancée du projet est réalisée. Ce n'est que lors de la fin de cette période qu'il est possible de dévoiler l'avancée du projet pour discuter de la direction à prendre.

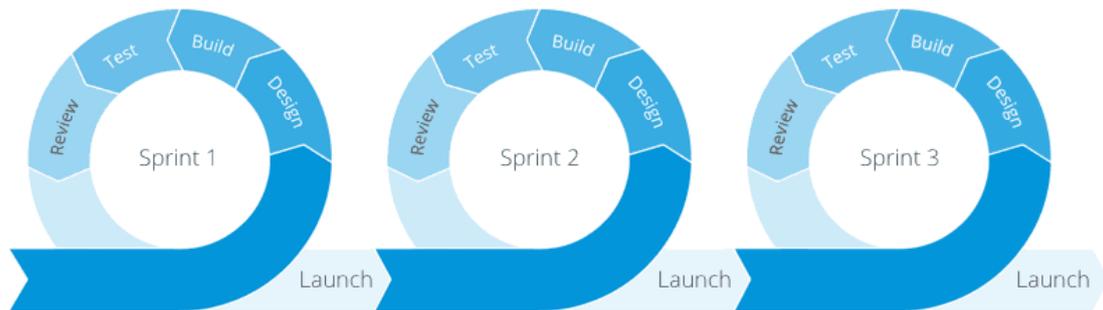


FIGURE 7.2 – Manifeste Agile

# Chapitre 8

## Conclusion

### 8.1 Bilan

Mon alternance portait sur l'automatisation d'un banc de test pour traction de câbles. Grâce à cette automatisation, les tests seront répétables et précis ; et l'opérateur n'aura plus besoin de rester en alerte pour la surveillance de la tension dans le câble tout au long des tests.

La rédaction des documents, la programmation, la mise en place du système et la réalisation des tests ont été faits selon les standards et le formalisme de Thales. La rédaction des exigences ainsi que les choix techniques, le dimensionnement et les schémas se sont basés sur les documents existants pour ce banc lorsqu'il n'était pas encore automatisé. La programmation a été réalisée sur un automate Siemens et une régulation PID a été choisie, permettant ainsi le maintien optimal à la tension seuil du test. L'intégration et la réalisation des tests ont permis de valider et certifier le bon fonctionnement du système. Le système est maintenant opérationnel et utilisé par les opérateurs.

Lors de périodes d'indisponibilité du banc, j'ai pu proposer des solutions envisageables dans le cadre du projet TSAM. La rétro-ingénierie m'a permis de comprendre et de prendre en main l'architecture complexe de ce système, pour que les améliorations considérées soient les plus pertinentes possibles. La rédaction d'une présentation a été effectuée pour la transmission et la reprise des propositions pour le développement des améliorations.

Pour conclure, ce stage m'a permis de découvrir plusieurs domaines différents et complémentaires du développement d'un système industriel. Il m'a permis de découvrir des facettes du monde de la mécatronique, de l'électrotechnique ainsi que de l'hydraulique. Le soutien des personnes en charge du banc, et plus particulièrement celui de mon tuteur, m'a permis l'apprentissage de ces disciplines, mais aussi de gagner en autonomie, en méthodologie et en rigueur. Enfin, il m'a permis d'entrer en profondeur dans les sujets techniques ainsi que d'apprendre à me poser les bonnes questions au bon moment.

## 8.2 Perspective

Bien que le banc de test traction soit fonctionnel, des améliorations pourraient être réalisées. Les tests réalisés actuellement possèdent au maximum trois seuils. A l'avenir, il serait possible de fixer une infinité de seuils possibles pour un cycle de test. Cela impliquerait une modification du programme dans l'automate et dans l'IHM pour la structuration des informations à entrer.

Il serait aussi préférable d'ajouter une carte mémoire dans l'IHM et l'automate pour améliorer la capacité de stockage en vue d'une sauvegarde des fichiers de tests ainsi que des valeurs des tests souvent réalisés.

De plus, une programmation sur l'IHM pourrait être réalisée afin d'y intégrer le rapport du test et de pouvoir imprimer directement ce dernier, contenant la courbe et les informations du test réalisé.

Une autre amélioration envisageable serait d'ajouter un voyant permettant à l'opérateur de connaître l'état du module de sécurité, c'est-à-dire s'il est armé ou non. Cela éviterait l'ouverture du coffret électrique pour chaque vérification.

# Bibliographie

- [1] Siemens. *Sécurité Fonctionnelle des machines et des installations*, 2010.
- [2] Siemens. *Support d'apprentissage de formation - TIA Portal*, 2018.
- [3] Luc JAULIN. *Automatique pour la robotique*. 2014.
- [4] Siemens. *Régulation PID*, 2018. Document d'aide à la configuration et la programmation de tâches de régulation sur automate Siemens.
- [5] Rachid OABRAHIM. *Auto réglage PID par structure unifiée et performante*, 1998. Thèse de doctorat - Université de Metz  
<http://docnum.univ-lorraine.fr/public/UPV-M/Theses/1998/Oubrahim.Rachid.SMZ9805.pdf>.