



Création d'un outil d'intégration continue

Rapport d'élève ingénieur
Stage de 2^{me} année
Filière F2 : Génie Logiciel et Systèmes Informatiques

Présenté par : **Rémi CHASSAGNOL**

Responsable ISIMA : Loïc YON
Responsable entreprise : Ludovic DESCOUT

Soutenance : 30/08/2023
Durée du stage : 5 mois

Campus des Cézeaux. 1 rue de la Chébarde. TSA 60125. 63178 Aubière CEDEX

Table des matières

Remerciements	3
Résumé	5
Abstract	5
Introduction	1
I Contexte du projet	2
1 CKsquare	2
2 Travail demandé	3
3 Environnement et outils à disposition	4
II Réalisation et conception	5
1 Choix du framework de test	5
1.1 Les critères de comparaison	5
1.2 Les frameworks	6
1.3 Le choix final	7
2 Organisation d'un projet CKsquare	8
2.1 Organisation des fichiers	8
2.1.1 Branche événementiel	10
3 Organisation du projet de tests	10
3.1 Faux projet et gcc	12
3.2 Les versions test	12
3.3 L'émulation	12
3.4 Le répertoire Test principal	12
3.4.1 Configuration de Criterion	12
3.5 Les tests	12
3.6 Cmake	12
4 Simulation des horloges	13
5 Simulation du stockage	14
5.1 Échec des threads	14
5.2 Interface I ² C	14
5.3 Interface SPI	17
5.4 Système d'évènements	18
6 Protocoles monétiques	18
6.1 L'interface Cctalk	19
6.1.1 Le protocole	19
6.1.2 Le code de l'entreprise	20
6.1.3 Émulation des composants	20
6.2 L'interface MDB	22
6.2.1 Le protocole	22
6.2.2 Le code de l'entreprise	22
6.2.3 Émulation des composants	22
6.2.4 Système de scénarios	22

7	Les historiques	22
7.1	Les CDBs	22
7.2	Tests des historiques	22
8	Mise en place de la pipeline	23
9	Déroulement du projet	23
9.1	Les outils utilisés	23
9.1.1	Gestion de version	23
9.1.2	Doxygen	23
9.1.3	GDB	23
9.1.4	IDE	23
9.2	Rédaction de la documentation	24
9.3	Planification des tâches	25
III	Résultats et discussions	27
1	L'outil final	27
2	Discussion et perspectives	28
3	Développement durable	29
	Conclusion	30
4	Résumé biblio (WARN : section temporaire)	30
A	Extraits de codes pour les frameworks	35

Remerciements

Les remerciements!!

Table des figures

1	Produits CKsquare	2
2	Logos des membres du groupe LPP	3
3	Intégration des tests dans le code commun	11
4	Liaison maître/esclave (I ² C)	15
5	Liaison maître/esclave (SPI)	17
6	Trame Cctalk	19
7	Diagramme de Gantt prévisionnel	25
8	Diagramme de Gantt actuel.	26

Résumé

Le super résumer !

Mots-clés : **C/C++**, **intégration continue**, **tests**, **systèmes embarqués**, **émulation**

Abstract

the amazing abstract

Keywords : **C/C++**, **continuous integration**, **testing**, **embeded system**, **emulation**

Introduction

Introduction
plan!

Première partie

Contexte du projet

1 CKsquare

CKsquare est une entreprise d'ingénierie, d'étude et de conseil spécialisée dans la conception de systèmes de paiement automatisés. La société, au départ nommée cbsquare, a été créée en 2003 par Emmanuel Bertrand et compte aujourd'hui plus de 30 employés. Au départ, l'entreprise se tourne vers le secteur des stations de lavage auto en créant une gamme de distributeurs de jetons. Par la suite, elle élargie sa collection de produits articulés autour de la monétique et se lance dans la conception de ses propres cartes électroniques.

L'entreprise conçoit des bornes principalement pour les stations de lavage auto ainsi que les laveries mais s'intéresse aussi à d'autres marchés comme l'hôtellerie. Un projet de casiers automatisés, qui a été présenté sur TF1, est aussi en train de se mettre en place. Ce nouveau projet est innovant et écologique, car il privilégiera les producteurs locaux et évitera les voyages en voiture pour se rendre dans les grandes surfaces. Ce projet permettra à l'entreprise de faire face au déclin des stations de lavage auto auxquelles on impose des restrictions à cause des sécheresses de plus en plus fréquentes. Aujourd'hui, plus de 40000 stations de lavage auto sont équipées de bornes CKsquare. On peut voir sur la figure 1 un exemple de produits conçus par l'entreprise.



FIGURE 1 – Produits CKsquare

CKsquare fait partie du groupe le Petit Poucet (LPP) composé de cinq sociétés qui travaillent en collaboration. Parmi ces entreprises, on compte la société M-Innov qui se charge de la conception et de l'installation des bornes et systèmes monétiques pour les aires de services, campings, parking ou hôtels. La société Mecasystem International, elle, se charge de la tôlerie et de la mécanique pour les bornes CKsquare et M-Innov. La société Ehrse, née au sein même de CKsquare, se charge des tests, du pré-montage et du câblage des cartes électroniques. Enfin, il y a la société Logawin, société fille de CKsquare qui est une entreprise de développement informatique. La société Logawin est composée de deux pôles, Logawin France basé à Clermont-Ferrand et Logawin Tunisie basé à Tunis. Ces cinq sociétés travaillent en coopération ce qui permet au groupe CKsquare d'avoir la maîtrise de la conception et de la fabrication de tous les composants des produits. On peut voir sur la figure 2 les logos des sociétés citées précédemment.



FIGURE 2 – Logos des membres du groupe LPP

L'objectif de la société CKsquare est de pouvoir fournir des produits configurables et adaptables aux besoins des différents clients. C'est pour cela que les bornes possèdent beaucoup d'options et que l'entreprise entretient un savoir faire quant à la gestion de la plupart des systèmes de paiements disponibles sur le marché. De plus, une équipe SAV reste à l'écoute du besoin des clients ce qui permet à l'entreprise de concevoir des solutions encore plus spécifiques et personnalisées.

Un des gros atouts de la société est son savoir faire concernant l'utilisation des cartes électroniques. En effet, presque toutes bornes CKsquare sont équipées de cartes électroniques beaucoup plus fiables et moins énergivores que des PC. Cependant, ces cartes doivent assurer beaucoup de fonctionnalités et gérer un grand nombre de composants ce qui pose de gros problèmes en terme d'optimisation du stockage. En plus, la gestion de systèmes de paiements bancaires implique encore plus de contraintes. Par exemple, la loi finance de 2016 (appliquée en 2018) a imposé la collection et la sauvegarde sécurisée des historiques de paiement.

2 Travail demandé

L'objectif est de réaliser un outil servant à faire de l'intégration continue pour valider les fichiers de la partie commune du code utilisé sur les bornes. L'outil doit permettre l'écriture de tests pour valider le code et doit pouvoir être automatisé dans une pipeline Gitlab. De plus, l'outil sera utilisé pour tester du code exécuté sur du matériel embarqué, il faudra donc un moyen de tester des fonctions qui interagissent avec le matériel électronique. Pour ce faire, il faudra émuler les interactions avec le matériel en créant des fonctions et des structures de données qui réagiront comme les composants électroniques. Par exemple, si une fonction doit modifier un registre sur une carte, il faut pouvoir émuler le registre pour vérifier que les bonnes modifications ont été apportées dessus. Il faudra aussi des fonctionnalités permettant de simuler l'interaction d'un utilisateur avec un composant pendant les tests. Par exemple, on doit pouvoir faire en sorte de tester le comportement du système lorsqu'un utilisateur appuie sur une séquence de touches. Il sera donc nécessaire d'émuler la mémoire des composants électroniques, les fonctions permettant de simuler les actions d'un utilisateur et les interfaces des composants en utilisant divers protocoles de communication comme l'I²C et le SPI mais aussi le Ctalk et le MDB.

Étant donné que les tests seront exécutés dans une pipeline (donc dans un docker), il faudra s'assurer

que le code puisse compiler sous Linux. De plus, pour que le code fonctionne dans la pipeline, il faudra compiler avec gcc ce qui nécessitera de remplacer une partie des bibliothèques de la carte, faites pour être compilées avec le compilateur fourni avec MPLAB.

La première tâche sera de trouver le framework de test adapté pour la conception de l'outil. Le code à tester est écrit en C, cependant, la société souhaiterait aussi pouvoir tester les bibliothèques écrites par l'équipe Qt. Il serait donc intéressant que l'outil soit aussi adapté au C++.

Le résultat final doit être un outil qui doit pouvoir être facilement réutilisable et adaptable. La documentation et la structure du code doit pouvoir permettre d'aisément modifier ou copier les différents éléments. Par exemple, il faudra que tous les composants simulés aient la même structure et que cette structure soit suffisamment simple et générique pour pouvoir être copiée pour la création d'un nouveau composant.

À noter que l'objectif du projet n'est pas d'écrire des tests. Des tests ont été écrits durant le projet mais ces derniers ont pour objectif de valider le bon fonctionnement des composants simulés et non celui du code de la société. Par contre, il faudra fournir une documentation complète décrivant comment tester les programmes. Cette documentation devra présenter le framework de test et décrire le fonctionnement des composants simulés ainsi que leur utilisation.

3 Environnement et outils à disposition

Concernant les conditions de travail durant le stage il faut noter que ce projet se réalisait seul. Cependant, les développeurs de CKsquare étaient présents pour répondre aux différentes questions, guider le projet ou pour faire les choix importants.

Le projet a été démarré de zéro, aucun projet de test similaire n'avait été amorcé auparavant. Le travail a été réalisé entièrement en présentiel. De plus, les stagiaires étaient tous conviés aux réunions qui permettent de faire le point au niveau des équipes de développement. Dans ces réunions chaque développeur parle pendant deux minutes du travail qu'il a réalisé et de ce qu'il compte faire ensuite.

Quant au matériel, un bureau avec un PC sous Ubuntu a été mis à disposition. La session sur le PC possédait les privilèges administrateur pour faciliter l'installation des différents logiciels utilisés pour le développement (compilateur, éditeur de texte, doxygen, ...). De plus, il a été fourni une boîte mail ainsi qu'un compte Gitlab. Un projet Gitlab a aussi été créé pour permettre de tester les frameworks de test. Il a aussi servi à stocker les notes prises sur le projet ainsi que la documentation. Enfin, la documentation des différents éléments comme les protocoles (Cctalk, Mdb) était disponible à la demande.

Deuxième partie

Réalisation et conception

1 Choix du framework de test

Le but du projet est de concevoir un outil permettant de tester du code, la première tâche à donc été de choisir un framework de test. Le framework de test constitue la base de l'outil, c'est donc un choix assez important. Dans cette partie nous traiterons de la procédure qui a été utilisée pour trouver et comparer des frameworks et des bibliothèques de test.

1.1 Les critères de comparaison

Étant donné le fait que le langage C est très utilisé, il y a beaucoup de choix quand aux différentes bibliothèques de test utilisables. Le premier travail a été de comparer bibliothèques et frameworks de tests existants. Une liste des frameworks disponibles sur Wikipédia [1] a permis de prendre connaissance des frameworks disponibles pour ensuite pouvoir faire plus de recherches. Ce travail de recherche a permis de faire un prés tri et d'éliminer les framework incomplets ou trop peu utilisés. Une fois la liste des meilleurs frameworks terminée, il a fallut trouver des critères pour comparer les frameworks.

Tout d'abord, l'équipe de développement souhaitait pouvoir tester à la fois du code **C** et du code **C++** pour certaines parties développées par l'équipe **Qt**. Ce critère était optionnel mais apprécié. À noter que lorsque l'on parle de pouvoir tester du code C++, cela ne prend pas seulement en compte le fait de pouvoir exécuter des fonctions basiques puisque c'est possible avec tous les frameworks C étant donné la compatibilité entre le C et le C++. Pour pouvoir tester du code C++, il faut aussi que le framework soit capable d'interagir avec les structures de données fournis par la bibliothèque standard de C++ ou encore de pouvoir traiter des exceptions. Étant donné ce critère, l'idée d'utiliser un framework écrit en C++ a été envisagé.

Un autre critère concerne la modernité et la facilité d'utilisation du framework. Cela peut sembler anodin mais l'écriture des tests est une tâche aussi longue que le développement. Pour ne pas perdre de temps, il est préférable que les tests soient le plus simple possible à mettre en place. De plus, les tests peuvent aussi servir de documentation, c'est donc un avantage non négligeable que d'avoir un framework qui permette d'écrire des tests simples, lisibles et compréhensibles. Enfin, ce critère impacte aussi le temps de conception de l'outil de test car le fait d'utiliser un framework trop complexe aurait nécessité la conception de fonctions et macros (pour réduire la complexité) et rallongé le temps d'écriture de la documentation. À noter que pour valider ce critère, la documentation des différents outils a aussi été étudiée, les frameworks devaient donc fournir une documentation suffisamment claire et précise permettant d'utiliser facilement toutes les fonctionnalités proposées.

Le critère le plus important est celui du statut du développement du framework. En effet, lorsque l'on souhaite utiliser un outil, une question importante à se poser est de savoir ce que l'on peut faire en cas de problème. Ici, il a fallut regarder la taille, la popularité et l'âge des projets. En effet, plus un projet est populaire plus il sera facile de trouver de l'aide en cas de problème. De plus, les projet important ont souvent beaucoup plus de collaborateurs ce qui peut accélérer la corrections des bugs ou la vitesse de réponse au issue. Enfin la dates de dernières mis à jours ont aussi été répertoriées car là aussi, il est beaucoup plus simple de résoudre les problèmes sur un projet qui est encore activement maintenu.

D'autres critères ont permis de démarquer les frameworks comme par exemple le fait que les frameworks

fournissent des fonctionnalités supplémentaires comme l'export des résultats des tests dans différents formats comme TAP ou XML (utile pour faire des rapports) ou encore des générateurs de nombres pseudo-aléatoires pour faire des tests avec des entrées aléatoires, ... Une autre fonctionnalité intéressante est que les frameworks exécutent les tests dans des threads séparés ce qui permet de tester des signaux ou encore de ne pas stopper tous les tests à cause d'une sortie erreur. Le fait que les frameworks utilisent beaucoup de macros a aussi été pris en compte car bien que ces dernières permettent de rendre le code beaucoup plus simple, elles peuvent aussi être source de problèmes (elles ont parfois un comportement non souhaité et elles sont très compliquées à déboguer). Le framework qui a été choisi possède ce défaut et nous verrons le problème que cela pose lorsque nous détaillerons ce framework.

1.2 Les frameworks

Dans cette section, nous allons faire une revue de tous les frameworks de tests étudiés pendant le début du stage. Une fois ceci fait, nous présenterons le choix final.

Check

Le premier framework de la liste est Check, il propose une interface simple pour l'écriture des tests, cependant, toute la mise en place des suites de tests est plus complexe mais peut être changée facilement. Check permet d'exécuter les tests dans des zones mémoires séparées ce qui permet de ne pas s'arrêter lors de l'émission d'un signal comme SIGSEV. La bibliothèque Check est disponible avec un paquet aptitude, ce qui le rend simple à installer. C'est aussi une bonne preuve de la popularité de cette bibliothèque. Check est assez complet et donne un rapport clair et facile à utiliser après l'exécution des tests. Le framework permet de construire une structure de tests classique où l'on groupe les tests dans des suites. Par contre, Check n'est pas compatible avec le C++.

Pour présenter les frameworks aux développeurs de la société, des exemples de codes ont été présentés pour permettre d'avoir une idée de comment le framework s'utilise. Sur le listing 1 de l'annexe A on peut voir un exemple d'utilisation de Check.

CUnit

Le second framework est CUnit, il est aussi disponible avec un paquet aptitude cependant. Le framework est assez complet et fournit beaucoup de fonctions d'assertion. CUnit permet de construire la même structure de tests que Check, et utilise des pointeurs de fonctions pour construire les suites. Pour chaque suite de tests, on peut fournir deux fonctions qui seront exécutées avant et après les tests pour permettre d'initialiser l'environnement de tests (ces fonctions sont généralement appelées **setup** et **teardown**). Ce framework ne sera pas compatible avec C++. Le framework CCPUnit est similaire à CUnit et permet aussi de tester du code C, cependant, il est nécessaire d'utiliser des classes C++ ce qui rend les tests plus complexes à mettre en place.

On peut voir sur le listing 2 de l'annexe A un extrait de code utilisant CUnit.

Criterion

Le framework suivant est Criterion qui est assez récent et aussi disponible avec un paquet aptitude. Il propose une interface très simple pour écrire des tests et des suites de tests. On peut facilement ajouter les fonctions de setup et teardown (pour les tests et les suites de tests) et les tests peuvent être paramétrés. Comme Check, les tests sont exécutés dans des zones mémoires séparées. On peut aussi facilement tester si un signal (comme SIGSEV) est émis ou pas. De plus, le framework propose beaucoup de macros

permettant de faire des assertions non seulement sur les types primitifs, mais aussi sur les tableaux. Enfin, Criterion possède aussi une interface C++.

À noter tout de même que la simplicité de l'interface de Criterion vient du fait que le framework utilise beaucoup les macros ce qui peut poser problème.

On peut voir sur le listing 3 de l'annexe A un exemple de tests écrits avec Criterion.

Minunit

Minunit est la plus simple des bibliothèques de tests trouvée. Elle ne se compose que d'un fichier d'entête. L'interface proposée est très simple mais très basique, elle permet seulement l'écriture de tests et de suites de tests. Cette bibliothèque est une collection de macros qui pourraient être utilisées pour créer un framework de test plus complet. La bibliothèque fournit aussi quelques fonctions d'assertion.

On peut voir sur le listing 4 de l'annexe A un exemple d'utilisation de Minunit.

Munit

Munit propose une interface plus complexe car cela nécessite d'utiliser des tableaux et des structures. Pour les tests, les fonctions de tests sont très simples à écrire et il y a la possibilité d'avoir différents types de retours. Pour chaque test, on peut associer les fonctions de setup et de teardown. Les tests peuvent aussi être paramétrés. Le framework propose aussi une interface en ligne de commande, il est donc possible de donner des paramètres au programme pour choisir quels tests sont exécutés. Il est aussi possible de construire une structure de test plus complexe car on peut avoir des suites de tests. Le framework propose aussi des fonctions de génération de nombres aléatoires.

On peut voir sur le listing 5 de l'annexe A comment s'utilise Munit.

Unity

Framework de test spécialisé pour les systèmes embarqués, léger et simple. Il ne permet pas de construire une structure de tests très complexe (seulement de simples tests) mais possède beaucoup de fonctions d'assertion. En terme d'interface, le framework propose une collection de macros simples et lisibles. Le framework fournit aussi un script pour faciliter la mise en place des tests (en revanche ce script est assez mauvais car il ne génère un runner que pour une seule suite).

Le framework possède beaucoup de fonctions d'assertions mais il ne possède pas beaucoup plus de fonctionnalités. Il ne sera pas utilisable pour tester du code qui utilise des fonctionnalités propres à C++ comme les exceptions par exemple.

On peut voir sur le listing 6 de l'annexe A un exemple de test utilisant Unity.

Tau

Très léger, le framework ne se compose que de fichiers d'entête. Il permet de construire une structure de tests avec des tests et des suites de tests. Les tests sont écrits en utilisant des macros, ce qui rend l'interface très simple. Tau permet facilement d'avoir plusieurs fichiers de tests en générant son propre main. Par contre, il ne permettra pas de tester les exceptions en C++.

On peut voir sur le listing 7 de l'annexe A un extrait de code utilisant Tau.

1.3 Le choix final

Le choix final s'est porté sur Criterion car le framework possède beaucoup d'avantage. Tout d'abord, il est le seul à être complètement compatible avec le C++ et ce, sans proposer une interface nécessitant

la mise en place de classe comme ce que l'on pourrait voir avec CppUnit. De plus, ce framework est très simple d'utilisation, il permet d'écrire des tests clairs facilement et rapidement. Il propose aussi beaucoup de fonctionnalités comme la possibilité de générer des logs, les tests paramétrés, les théories (tests des vecteurs d'entrées et de sorties) et possède aussi une interface en ligne de commande permettant de passer des options en paramètres du programme.

Par contre, la simplicité d'utilisation de ce framework cache une grande complexité au niveau de son implémentation. Le framework a posé quelques problèmes mineurs dans la suite du projet. Tout d'abord, la simulation des composant nécessite l'appel de fonctions d'initialisation au préalable et cela aurait été pratique de le faire dans la fonction `main`. Comme expliqué dans les parties précédentes, le framework génère son propre point d'entrée, cependant il est possible d'écrire la fonction `main` à la main si besoin. Le problème est que pour une raison inconnue, cela n'a pas marché lors des essais au début du projet (d'après le message d'erreur, le problème venait des threads). Ce n'est pas un problème grave car Criterion propose beaucoup d'outils qui permettent de mettre en place des solutions alternatives mais c'est tout de même un point important à noter. De plus, le fait que le framework utilise beaucoup de macros pose parfois problème car ces dernières peuvent avoir des comportements indésirables. Par exemple, il peut arriver qu'un test basique d'égalité avec la fonction d'assertion principale ne compile plus lorsque l'on échange les expressions de par et d'autre de l'opérateur `==`. Les macros peuvent être très utiles et très puissantes, elles permettent ici de rendre le code beaucoup plus lisible, cependant, il faut noter que les macros trop complexe sont très difficiles à écrire et à déboguer.

Le framework choisit possède donc beaucoup de qualité mais aussi quelques défauts. Au final, bien que ce framework ne soit pas parfait, il remplit bien son rôle et il propose beaucoup de fonctionnalités très utiles pour écrire les tests. De plus, il faut noter que ce framework est assez récent, il est donc normal qu'il y ai encore des défaut qui seront certainement corrigés au fil des années de développement.

2 Organisation d'un projet CKsquare

L'outil créé pendant ce stage a été testé sur un projet de l'entreprise. Cela a permis dans un premier temps de pouvoir voir et comprendre comment le code à tester fonctionnait puis ensuite cela a permis de vérifier la bonne intégration de l'outil dans le projet. Dans cette partie, nous détaillerons comment sont organisés les projets de CKsquare. Cela permettra une meilleure compréhension des choix qui ont été fait par la suite.

2.1 Organisation des fichiers

TODO : arborescence des fichiers pour le projet global et pour `dev_pic`

Dans cette partie, nous allons détailler comment sont organisés les fichiers dans un projet CKsquare puis nous traiterons le fonctionnement du code dans la partie suivante. On rappelle que ce projet d'intégration continue ne concerne que la partie du code qui est commune à tous les projets. Elles font parties des bibliothèques ajoutées aux projets sous la forme de sous module git.

Pour pouvoir penser le fonctionnement de l'outil de test à créer pendant ce stage, il était important de comprendre le fonctionnement général du projet. Avant de s'intéresser au fonctionnement, il faut comprendre comment le code est organisé. Cela permet deux choses, premièrement, cela permet de ne pas se perdre et de pouvoir facilement retrouver les fichiers. Pour comprendre le fonctionnement du code, il est important d'avoir un plan de l'organisation. Deuxièmement, il est aussi très important de comprendre comment s'est organisée l'entreprise pour pouvoir structurer le code de l'outil créé. En effet,

l'organisation du projet de test doit suivre les principes de CKsquare pour rendre l'outil facile à utiliser et à maintenir pour les développeurs de l'entreprise.

Chaque projet comporte une partie locale dans laquelle, tous les noms de fichiers commencent par un **l**. Dans cette partie, on retrouve trois fichiers principaux. Tout d'abord, il y a le fichier `linit.c` qui permet d'initialiser le projet. Ensuite, il y a les fichiers `lmain.c` et `lloop.c` qui permettent de gérer la fonction `main` et la boucle principale du projet. Le projet local contient aussi deux fichiers très importants car ils permettent de configurer le projet. Ces fichiers se nomment `config.h` et `config_hw_default.h`. Ce sont des fichiers d'entête à l'intérieur desquels sont définis des constantes préprocesseur. Les projet CKsquare fonctionnent beaucoup sur le principe de la compilation conditionnelle. Les constantes préprocesseurs sont gérées à la compilation pour inclure ou non des parties du code, ce qui permet d'ajouter ou d'enlever facilement des fonctionnalités. Lorsqu'une fonctionnalité est enlevée, elle n'est pas compilée et le code correspondant n'apparaît pas dans l'exécutable. De ce fait, il n'impacte pas sa taille, ce qui est très intéressant du fait des limitations quand aux capacités de stockage sur les cartes. La gestion de la configuration s'est avérée complexe du fait du grand nombre d'options qui ne sont pas toutes documentées. Chaque projet contient aussi un répertoire `CKLibs` dans lequel se trouvent des sous modules git. Sur le projet d'étude qui a permis la mise en place du projet de test, il y avait deux sous modules. Le premier sous module se nomme `commun_global` et il contient la partie du code qui est commune à tous les projet C, C++ et python. Le second sous module est `dev_pic`, ce dernier ne concerne que la partie C qui s'exécute sur un PIC.

La partie que nous allons traiter se trouve dans le répertoire `dev_pic`. Ce répertoire contient un sous répertoire `commun` qui contient la partie du code à tester. Le sous répertoire `commun` n'est pas la seule chose intéressante dans `dev_pic` puisque ce dossier contient aussi les bibliothèques des différents compilateurs. L'entreprise CKsquare a réécrit une grande partie des bibliothèques des PICs pour avoir plus de maîtrise quand à la gestion des différents éléments. Ces bibliothèques ont été très utiles pour mettre en place une partie de l'émulation des composants dans le projet de test, nous traiterons cela plus loin dans ce rapport. Le reste des bibliothèques des microcontrôleurs a aussi été utilisé pour compiler avec gcc, là aussi, ce sera traité dans les prochaines sections.

Le code commun est organisé par catégories. Le répertoire `commun` de `dev_pic` contient des sous répertoires qui correspondent aux catégories. Par exemple, on retrouve le dossier `StorageDriver` qui contient les fichiers qui gèrent le stockage ou encore le dossier `Payment` qui contient tout ce qui concerne le paiement (types de paiement, accepteur de pièce, ...). L'objectif est de pouvoir faire des recherches par catégories et de garder les dépendances au plus proche des fichiers. Par exemple, plusieurs des sous répertoires de `commun` contiennent un dossier `Web` qui regroupe les dépendances web des fichiers de chaque catégorie. On peut ainsi retrouver facilement les dépendances des fichiers.

Pour résumer, les projets CKsquare sont composés d'une partie locale, spécifique au projet. Parmi ces fichiers locaux, on retrouve le fichier responsable de l'initialisation, le point d'entrée, la boucle principale ainsi que la configuration du projet. Les projets incluent des bibliothèques sous la forme de sous modules git stockées dans le répertoire `CKLibs`. Parmi ces bibliothèques on retrouve le projet `dev_pic` qui contient le code commun à la partie C qui s'exécute sur les cartes électroniques de l'entreprise, et c'est ce code que l'outil créé durant ce stage va tester. À noter qu'ici, on ne s'intéresse qu'à l'essentiel pour permettre une explication rapide du fonctionnement général du projet dans la partie suivante. Cependant, le projet comporte beaucoup d'autres fichiers qui ne sont pas décrits dans ce rapport.

Maintenant que nous avons expliqué l'organisation générale du projet, nous allons pouvoir traiter le fonctionnement de ce dernier.

Fonctionnement du projet

Le code commun comporte deux branches, une branche principale et une branche plus récente sur laquelle le code fonctionne avec un système d'évènement. La branche sur l'événementiel a été traitée en deuxième partie de stage.

Sur les deux branches, le code est géré par des machines à états. Elles sont utilisées autant du côté du C que de celui du C++. Les machines à état sont un outil très puissant est très pratique car elles permettent d'avoir un meilleur contrôle sur l'exécution du code et ont un fonctionnement assez intuitif. De plus, elles peuvent permettre de rendre le code plus clair en particulier quand il y a beaucoup de cas à traiter. Enfin, elles permettent de gérer les erreurs simplement en évitant la duplication de code.

Branche principale

Cette branche a été la première créée par les développeurs de la société, elle est utilisée sur la plupart des bornes. Le principe est que chaque fichier fournit une fonction `Control` (exemple : `BILLVALIDATOR_Control`). Ces fonctions sont des machines à états qui permettent de contrôler une fonctionnalité. Par exemple, pour un accepteur de billet, la fonction `Control` aura des états qui seront utilisés au début et qui vont permettre de faire de l'initialisation. Ces états peuvent faire des requêtes au composant pour récupérer sa configuration. La machine à états aura aussi un état servant à faire du *polling* pour interroger le composant durant son exécution, pour par exemple savoir si il y a un billet à traiter.

Les fonctions `Control` sont appelées par un gestionnaire (`ControlManager`). À l'initialisation du programme, toutes les fonctions `Control` sont ajoutées dans une liste et pour chacune d'entre elles, on précise la durée minimale entre deux appels. Ensuite, le gestionnaire est utilisé dans la boucle principale et va appeler toutes les fonctions qui ont été ajoutées lorsque c'est nécessaire. Par exemple, on peut ajouter la fonction de l'accepteur de billet à l'initialisation et spécifier que cette fonction soit appelée toutes les dix centièmes de seconde. Avec cette configuration, la fonction sera appelée par le gestionnaire et il y aura au minimum dix centièmes de seconde entre chaque appel.

Les fonctions `Control` vont être un élément très important à tester. Ces fonctions ont beaucoup servi lors des essais réalisés sur les fichiers pendant la création de l'outil. Elles sont très intéressantes car elles permettent de couvrir une grande quantité de code et de tester la plupart des cas (pour le code de l'outil de test). À noter cependant que les machines à états sont très compliquées à tester puisqu'il ne faut normalement pas avoir accès aux états dans les tests [2]. Il faut donc être capable de manipuler l'environnement dans le code pour savoir dans quel état on se trouve et choisir l'état dans lequel se rendre. L'utilisation d'un débogueur a grandement facilité la mise en place des tests réalisés sur ces fonctions.

2.1.1 Branche événementiel

TODO : event
TODO : inspiré de qt
TODO : plus lisible mais plus lourd
TODO : normalement plus rapide comme il n'y a pas trop d'appels à toutes les fonctions

3 Organisation du projet de tests

Dans cette partie, nous allons détailler la structure du projet de test. Cette structure s'appuie sur celle des projets de l'entreprise.

Il est important de noter que l'organisation du projet de test a changée. Au départ, le projet de test devait être un géré à part. Ce dernier devait être cloné dans la pipeline du code commun pour pouvoir tester les fichiers. Au final, il a été décidé d'intégrer complètement l'outil de test dans `dev_pic`. L'organisation des tests suis les principes expliqués dans la section **orgaprojck**. De ce fait, les tests sont stocké à proximité des fichiers testés. Sur la figure 3, on peut voir une représentation de l'arborescence des fichiers dans le projet commun.

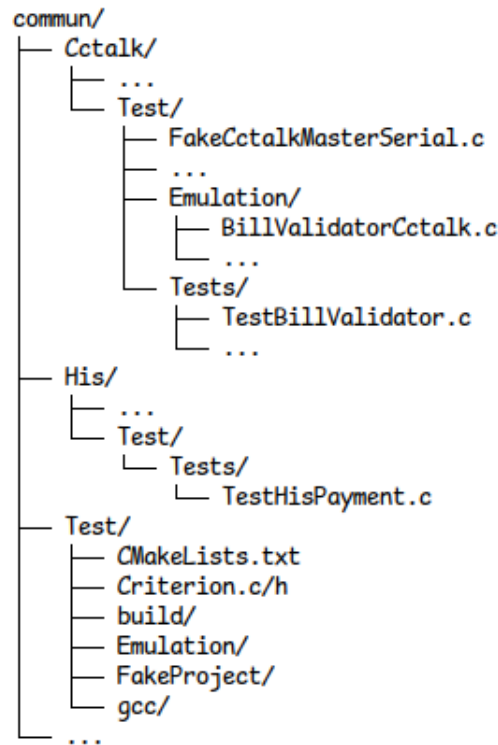


FIGURE 3 – Intégration des tests dans le code commun

Cette arborescence montre une partie du contenu du répertoire `dev_pic/commun`. Ici, on peut voir trois des catégories qui ont été mentionnées dans la section 2.1. Il y a le dossier `Cctalk` qui contient le code qui permet de gérer le protocole `Cctalk` que nous aborderons dans une prochaine partie. Le dossier `His` lui contient le code qui permet de gérer l'historique. Enfin, le répertoire `Test` a été ajouté lors de l'intégration du projet de test dans le projet commun. À noter qu'il y a un autre répertoire `CFake` qui lui se trouve à la racine du projet, au même niveau que `commun`. Ce dernier contient la simulation des interfaces pour le stockage. Étant donné que le stockage est un élément assez général, il a été mis à part. Comme on peut le voir ici, tous les fichiers ayant un lien entre eux sont stockés ensemble et il en est de même pour les tests. C'est une structure assez atypique pour du C puisque les tests sont habituellement mis à part, généralement dans un répertoire `test` à côté du projet. Ici, les tests sont intégrés dans code à la demande des développeurs de la société. C'est un choix assez intéressant puisque cela permet d'avoir accès aux tests très rapidement et de bien voir à quels éléments du code les tests sont liés.

Maintenant que nous avons définie une carte générale du projet, détaillons les parties les plus imporantes

TODO : tree

TODO : reprendre la doc

3.1 Faux projet et gcc

TODO : détail de `FakeProject` et `gcc`. TODO : détail du fichier `picvariable`

3.2 Les versions test

TODO : détail de `TestLibraries`.

TODO : détail de la création d'une version test (reprendre la doc d'IOS)

3.3 L'émulation

TODO : détail de `Emulation`.

3.4 Le répertoire Test principal

3.4.1 Configuration de Criterion

3.5 Les tests

TODO : détail de `tests`.

3.6 Cmake

Dans cette partie nous allons voir comment est compilé le projet de test. Nous justifierons tout d'abord le choix de l'utilisation de CMake. Ensuite, nous détaillerons l'organisation et le fonctionnement de la configuration de cet outil.

Au début du projet, l'outil choisit pour compiler était Makefile. L'avantage de Makefile est qu'il est assez proche du script, ce qui donne une grande flexibilité car on définit toutes les commandes à la main. Le défaut de Makefile est qu'il peut très vite devenir peu lisible. De plus, sur de gros projet, mettre en place de la compilation séparée peut être très complexe, or cela était nécessaire pour le développement du projet étant donnée le nombre de fichier à compiler. L'outil de test à créer devait être suffisamment simple à utiliser et à modifier, la complexité croissante du Makefile à mesure que le projet avançait a pousser à l'utilisation de CMake.

CMake est un outil qui permet de générer un Makefile très complexe. Il permet de mettre en place de la compilation séparée sur de gros projets automatiquement. La configuration de CMake est assez simple et beaucoup plus lisible que celle de Makefile. De plus, CMake propose des fonctionnalités avancées comme la gestion automatique des bibliothèque ou encore **CTest**, qui permet d'automatiser l'exécution de tests. Détaillons à présent la configuration de cet outil.

Le fichier de configuration de CMake est le fichier `CMakeLists.txt` (il doit avoir exactement ce nom). Il faut un fichier de configuration par sous projet. Ici, il n'y a que le projet de tests alors ce fichier se trouve dans le répertoire `commun/Tests`.

La configuration comporte les six sections suivantes :

- **configuration du projet** : cette partie contient la configuration minimale de CMake. Ici, on spécifie la version minimale de CMake requise ainsi que le nom du projet. Cette partie comprend aussi l'ajout du framework Criterion à l'édition des liens ainsi que des options pour `gcc` comme l'option `-g` par exemple (débogage avec `gdb`).
- **jeux de tests** : dans cette partie, il y a plusieurs listes de fichiers tests (stockées dans des variables réutilisables plus loin). Il y a plusieurs jeux de tests car on souhaite générer plusieurs exécutables.

Comme dit précédemment, il y a plusieurs configurations du projet à tester. Chaque exécutable correspond à une fonctionnalité qui nécessite une configuration particulière.

- **projet de test** : cette partie contient la liste des fichiers relatifs au projet de test.
- **projet commun** : ici on a une liste qui contient les fichiers du projet `dev_pic` qui sont à compilés avec tous les exécutables. Ce sont les fichiers dont tous les jeux de tests ont besoin.
- **exécutables** : dans cette partie, on génère les exécutables en spécifiant les bonnes listes de fichiers à compiler. De plus, pour chaque exécutable, on utilise une commande CMake qui permet de définir des constantes préprocesseur lors de la compilation (option `-D` de gcc). Cela permet de choisir les configurations du projet pour les tests.
- **tests** : dans cette section, on ajoute les exécutables à la liste des tests. Ces tests pourront être lancé par `CTest` après la compilation.

4 Simulation des horloges

Le premier élément qui a été simulé était l'horloge principale du programme. Par la suite, c'est l'horloge `Rtc` qui a été simulée en suivant le même principe que pour l'horloge principale. Dans cette section nous allons traiter le fonctionnement de ces composants.

Au début du projet, quelques tests simples ont été réalisés sur certains fichiers, cependant, il est rapidement devenu évident que certaines fonctions n'allaient pas pouvoir être testées à cause de l'horloge. En effet, à plusieurs endroits dans le code, on met en place des temps d'attente et le programme est bloqué tant que le temps d'attente n'est pas passé. L'horloge est gérée dans le code à travers une variable globale `TIMER_Centieme` et cette dernière doit être incrémentée pour que le temps passe. Dans le cas contraire, le programme reste bloqué.

Le problème technique que pose la simulation des horloges est qu'il faut que ces dernières fonctionnent en même temps que le programme principale tourne. L'implémentation la plus simple consiste à incrémenter les variables d'horloge dans les tests à chaque fois que l'on sait qu'un temps d'attente est mis en place. Cette solution n'était pas suffisamment pratique et réaliste. Pour ce problème, il a été très rapidement décidé d'utiliser des threads. L'objectif était d'incrémenter les variables des horloges dans des fonctions simples s'exécutant dans un processus séparé en même temps que le programme principal.

Cette solution a été très simple et rapide à mettre en place étant donné que les processus n'avaient pas besoin d'être synchronies. Au final, les deux horloges fonctionnent sur le même principe. Pour chacun des fichiers on a une fonction `Start` qui permet de créer le thread. Cette fonction possède une sécurité qui fait que l'on peut faire autant d'appels que l'on souhaite, le thread n'est créé qu'une seule fois (cela rend l'utilisation plus simple dans les tests). À noter que dans le cas du `Rtc`, l'horloge démarre à la date du jour. Les fichiers comportent aussi une fonction `Loop` qui est la fonction qui s'exécute dans le thread. De plus, des moyen d'interagir avec les horloges ont été ajoutés. Par exemple, à certains endroits du code, on met en place des temps d'attente relativement long. Pour éviter de bloquer le programme, chaque fichier propose une fonction `Wait` qui permet d'incrémenter le compteur manuellement. Il est aussi possible de mettre les horloges en pause et de les relancer. Enfin, il y a une fonction `Stop` qui permet de détruire les threads. Les fonctions `Start` et `Stop` sont appelées dans les fonctions d'initialisation et de terminaison globales décrites dans la section 3.4.1.

Les horloges représentaient donc une partie importante du projet car elles sont énormément utilisées dans le code et si les compteurs ne sont pas incrémentés, il devient impossible de tester les fonctions. La solution qui a été trouvée est très simple et assez réaliste en plus d'être assez pratique à utiliser dans les

tests. Dans la section suivante, nous traiterons le deuxième éléments qui a été simulé lors de la création de l'outil de test et qui propose une solution différente de celle utilisée avec les horloges.

5 Simulation du stockage

Une partie importante de l'émulation concerne le stockage et il y a plusieurs types composants à simuler, les registres, les eeproms, et la mémoire flash. L'émulation des périphériques de stockage est assez simple puisqu'il s'agit juste de tableaux de caractères non signés (codés sur 8 bits sur la plupart des machines). La partie complexe de l'émulation du stockage concerne l'interface qui permet d'interagir avec les périphériques. Il y a deux protocoles qui sont utilisés avec le stockage. Tout d'abord il y a le protocole I²C qui est utilisé avec les registres et certaines eeproms. Ensuite il y a le protocole SPI qui est utilisé avec les eeproms et les mémoires flash. La simulation de ces deux interface a nécessité l'apprentissage des deux protocoles qui ne sont pas traité dans les cours de la filière 2 à l'ISIMA.

TODO : mettre des images des composants (montrer l'objet au delà du code est intéressant)

Dans cette partie nous allons voir comment a été réalisée l'émulation de l'interface permettant d'utiliser le stockage avec les différents protocoles.

5.1 Échec des threads

La première solution qui a été implémentée utilisait des **threads** de la même façon que les horloges. L'objectif été de pouvoir simuler les composants de sorte à ce qu'ils se comportent comme les composants réels installés sur la carte. Pour se faire, il été souhaitable que les composants simulés soient actif en même temps que la carte (représentée ici par le programme à tester) et c'est pour cela que les threads ont été utilisés. Le principe était que les composants étaient représentés par des machines à états qui bouclaient dans un état de base jusqu'à ce que le composant soit appelé (donc jusqu'à ce que le programme principale décide de lancer une communication en utilisant un des protocoles cités précédemment). Une fois le composant appelé, la machine à états permettait d'assurer la communication. Pour que les composants simulés s'exécutent en même temps que le programme principale, ils s'exécutaient dans des threads séparés.

Le problème des threads réside dans la synchronisation de ces derniers. Il y a différentes méthodes pour synchroniser des threads. Sur ce projet, il a au départ été utiliser des boucles infinies qui permettait de faire attendre les threads. Par exemple, le programme principale était stoppé par une boucle pour attendre que le les composants émulsés s'exécutent et le débloquent. Cette solution a été utilisée au départ car ce genre de boucles été déjà présentes dans l'implémentation de l'I²C. Par la suite, cette solution s'est avérée complexe d'utilisation et peu élégante, les boucles ont donc étaient remplacées par des sémaphores. Au final, la synchronisation des threads est devenue trop compliquée et très peu fiable (l'exécution du programme ne donnait pas toujours les même résultats). L'objectif du projet étant de concevoir un outil qui soit facilement réutilisable, cette solution était trop complexe et donc pas adaptée. Il a donc été décidé de ne plus les utiliser les threads même si la nouvelle solution devait être moins pratique d'utilisation au niveau de l'écriture des tests.

5.2 Interface I²C

Dans cette partie, nous allons voir le fonctionnement de l'émulation de l'interface I²C du stockage. Nous commencerons par voir les principes du protocole I²C puis nous détaillerons le fonctionnement de la simulation.

Le protocole I²C

Le protocole I²C (Inter Integrated Circuit) est un protocole série bidirectionnel en halfduplex. La plupart des connaissances sur l'I²C on été trouvées sur ce document [3] et de Wikipédia [4], le reste vient des développeurs de l'entreprise. Ce protocole fonctionne en mode maître et esclave. Par exemple, la carte électronique est considérée comme le maître et elle pilote les périphériques qui eux sont les esclaves. Un esclave ne prend jamais la parole, c'est au maître de démarrer la communication et l'esclave répond lorsque c'est nécessaire. La connexion est réalisée par l'intermédiaire de deux fils, SDA (Serial Data Line) qui permet de transmettre les données et SCL (Serial Clock Line) qui correspond à l'horloge, quand SCL est à 1, on envoi un bit sur SDA. Ces deux lignes sont bidirectionnelles. Le schéma de la figure 4 illustre le principe de l'I²C.

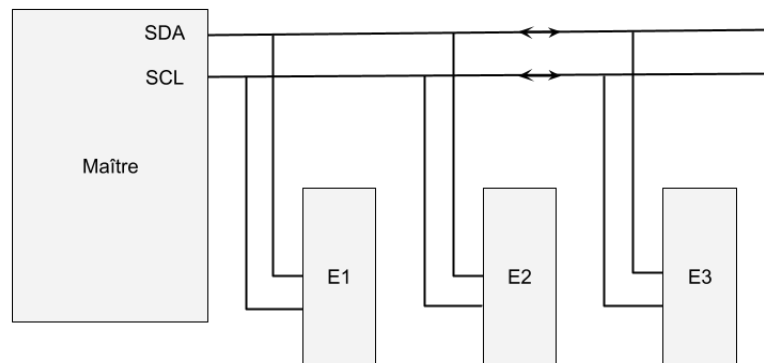


FIGURE 4 – Liaison maître/esclave (I²C)

Pour démarrer la communication, le maître envoi un octet que l'on appel *l'octet d'adresse*. Sur ce premier octet, les sept premiers bits corresponde à l'adresse du destinataire (l'esclave qui est appelé par le maître). Le dernier bit permet de spécifier le mode d'accès, s'il est à 0, le maître va envoyer des données à l'esclave. S'il est à 1, c'est l'esclave qui devra envoyer des données aux maître. Si on prend l'exemple du stockage, quand ce bit est à 0, la carte va envoyer des données à écrire, sinon, la carte souhaite lire les données écrites sur le composant. La suite de la communication va vairée en fonction de ce qui a été demandé par la carte.

Pour résumer, ce protocole fonctionne en mode maître et esclaves avec deux lignes, SDA qui permet de transmettre des données et SCL qui correspond à l'horloge. Lors d'une communication, la carte électronique (le maître) va envoyer un permet octet contenant l'adresse du composant (l'esclave) auquel elle s'adresse ainsi que le mode d'accès. Ensuite, l'esclave et le maître se transmettent des données jusqu'à la fin de la communication. Ce protocole possède d'autre subtilités qui ne seront pas détaillées ici car elles n'ont pas été utiles pour la réalisation de ce projet. Dans la section suivante nous allons aborder le fonctionnement de l'implémentation du protocole par CKsquare puis nous traiterons les différents éléments qui permettent de simuler l'interface I²C pour le stockage.

Émulation

Maintenant que nous avons abordé le fonctionnement du protocole I²C dans la première partie, intéressons nous à la façon dont l'interface a été simulée pour le stockage. Pour mettre en œuvre l'émulation, une étude du fonctionnement de l'implémentation du protocole par l'entreprise ainsi que son utilisation a été nécessaire. Pour ce faire, il a fallut s'intéresser à l'organisation des fichiers et aux fonctions qu'ils contiennent. À la demande des développeurs de l'entreprise, la simulation devait permettre de tester

tout le code. C'est pour cette raison que la simulation a été placée au plus proche des bibliothèques de Microship (fournisseurs des cartes) au lieu de simplement remplacer des fichiers. Il était obligatoire de comprendre comment l'entreprise utilise l'I²C car le protocole en lui-même ne décrit que la façon dont les composants communiquent en non les données qu'ils envoient. Par exemple, ce protocole peut être utilisé avec plusieurs types de composants, pas seulement du stockage. Pour deux types de composants différents, la communication suivant le même protocole n'aura pas la même forme car ces derniers ne proposent pas les mêmes fonctionnalités. La simulation mise en place est donc spécifique au stockage sur les cartes Microship.

Tout d'abord, commençons par nous intéresser au fonctionnement du code de l'entreprise. Comme dit précédemment, le répertoire `dev_pic` contient les bibliothèques utilisées avec les différents compilateurs. Le compilateur le plus utilisé (et le plus récent) dans l'entreprise est le `c32` et les fichiers le concernant sont stockés dans le répertoire `C32` dans `dev_pic`. Dans, ce répertoire se trouve le fichier permettant de gérer l'I²C. Ce fichier contient plusieurs fonctions permettant de démarrer et stopper la communication ainsi que d'envoyer des données. Ce fichier est relativement simple et reprend les étapes décrites par le protocole (début, fin, envoi en mode écriture, ...). La communication en elle-même est gérée par d'autres fichiers qui eux font partie du code commun. Les fonctions définies dans les fichiers ont permis de comprendre comment sont utilisés les périphériques de stockage. À noter qu'ici, la ligne permettant de transmettre des données est modélisée par une variable (globale). Cette variable est gérée par la bibliothèque du PIC et est définie dans le fichier `PicVariables` mentionné dans la section 3.1.

Pour une écriture sur un composant, on commence par démarrer la communication puis on envoie l'adresse du périphérique de stockage auquel on s'adresse avec le bit de mode à 0 (comme le demande le protocole). Ensuite, on envoie une adresse qui va permettre de placer le curseur du composant. Cela va permettre de spécifier au composant à quelle adresse on souhaite écrire. Le nombre d'octets à envoyer pour le déplacement du curseur dépend du composant ciblé. Dans le cas d'un registre, on envoie un octet, dans le cas d'une eeprom 2 (les flash ne sont pas utilisées avec l'I²C). Enfin, on envoie les données à écrire sur le composant avant de terminer la communication. Toutes ces étapes sont gérées par des fonctions dans le fichier de `C32`. La lecture suit le même principe sauf qu'ici, on ne spécifie pas la position du curseur. La subtilité est que si on souhaite lire à une certaine adresse, il faut commencer par écrire, déplacer le curseur du composant puis redémarrer la communication en mode lecture.

Maintenant que nous savons comment utiliser le protocole, intéressons nous à la simulation. Comme dit précédemment, la simulation doit se positionner au niveau des bibliothèques du PIC, la meilleure option était donc de modifier les fichiers de cette bibliothèque. Comme nous l'avons vu dans la section 5.1, la première solution utilisait une machine à états qui s'exécutait dans un thread. Pour réaliser la nouvelle solution, il a été décidé de reprendre le code de la machine à état et d'en faire une fonction `Control` similaire à ce que l'on peut trouver dans le code de CKsquare. Cette décision apportait deux avantages, le premier étant que le fonctionnement est très similaire à celui du code de l'entreprise, ce qui est intéressant étant donné le fait que l'outil est destiné à être utilisé par les développeurs de la société. Le deuxième avantage est le gain de temps dû à la réutilisation du code de la solution précédente. Les appels à cette fonction `Control` ont été faits dans une version modifiée pour les tests du fichier de `C32` compilé à la place de l'original. Cela permet aux développeurs des tests de ne pas avoir à se préoccuper de la simulation, de son point de vue, tout fonctionne comme sur la carte. Les états de la machine suivent les étapes du protocole.

Pour utiliser cette simulation, il faut commencer par configurer les composants en modifiant la fonction d'initialisation. Dans cette fonction, on ajoute les périphériques de stockage à une liste en spécifiant leurs types (eeprom ou registre) ainsi leurs adresses (utilisée pour reconnaître le périphérique choisi). Il faut aussi donner les indices des composants dans les tableaux mémoire. Comme dit précédemment, la mémoire est simulée à l'aide de tableaux à deux dimensions. Ces tableaux correspondent à des listes de mémoires dont

la taille varie en fonction du type du composant. Par exemple, il y a un tableau représentant la liste des mémoires pour les eeprom (dont la taille correspond à la taille d'une eeprom). Lors de la configuration, pour ajouter un composant, il faut lui attribuer une mémoire (un indice dans le tableau). Ensuite, le code testé va interagir avec la machine à états de la simulation qui va utiliser la mémoire simulée. Pour vérifier le contenu de la mémoire après une opération, on peut utiliser les tableaux de la simulation auxquels on a accès depuis les tests.

TODO : faire un schéma

TODO : parler des graphs dans la doc

5.3 Interface SPI

Le second protocole utilisé avec le stockage est le protocole SPI. Comme pour le protocole I²C traité dans la partie précédente, nous commencerons par expliquer le fonctionnement du protocole puis nous détaillerons l'émulation. Ce protocole est très similaire à l'I²C et il en est de même pour le fonctionnement de la simulation, 'il y aura donc beaucoup d'analogies avec la partie précédente. Ce protocole est très similaire à l'I²C et il en est de même pour le fonctionnement de la simulation, il y aura donc beaucoup d'analogies avec la

L'étude de ce protocole à était faite à l'aide de deux documents partie précédente. 'étude de ce protocole à était faite à l'aide de deux documents. [5] et [6]. Le protocole SPI (Serial Peripheral Interface) est un protocole série en full duplex. Là où l'I²C possédait seulement deux lignes, ici, il y en a au minimum quatre. Il y a tout d'abord SCLK qui permet de gérer l'horologe. Ensuite il y a MOSI (Master Out Slave In) et MISO (Master In Slave Out) qui permette d'envoyer des données. Ici, le fait d'utiliser deux lignes permet au maître et à l'esclave d'échanger des données en même temps. La dernière ligne, \overline{CS} , permet, quand elle est à zéro, de sélectionner le composant avec lequel on souhaite échanger. Cette ligne est relié à un seul composant, il faut donc autant de lignes \overline{CS} (Chip Select) que d'esclaves. Sur la figure 5, on peut voir un schéma représentant la liaison entre la carte et un composant en SPI.

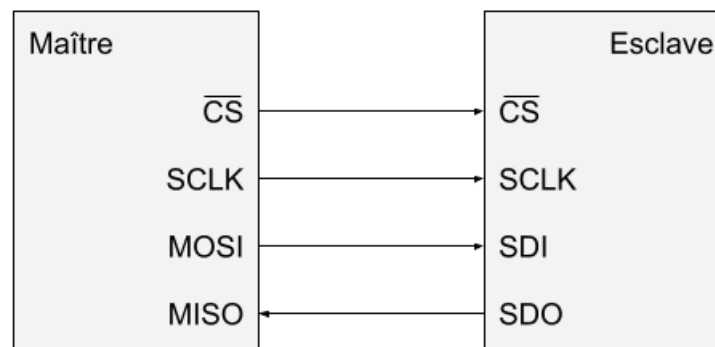


FIGURE 5 – Liaison maître/esclave (SPI)

Maintenant que nous avons vu les principes du protocole, intéressons à la simulation.

Émulation

Pour réaliser la simulation de l'interface SPI, la démarche a était la même que pour l'I²C. La mise en place d'une solution a été précédée d'une étude du fonctionnement du code permettant d'utiliser le protocole.

La gestion du protocole dans le code est très similaire à celle de l'I²C. Il y a un fichier dans le répertoire C32 contenant les fonctions basiques du protocole. Là aussi, les lignes sont gérées à l'aide de variables

globales définies dans le fichier `PicVariables`. Les fichiers plus haut niveau du code commun ont permis de designer la machine à états au départ utilisée dans la solution avec les threads puis réutilisée dans la nouvelle solution. Ici le fonctionnement est un peu plus complexe qu'avec l'I²C. Pour faire une écriture sur un composant, on commence par démarrer la communication puis on sélectionne le composant auquel on souhaite s'adresser. Ensuite, on envoie un code qui va permettre de choisir une action à réaliser. Parmi les actions possibles, il y a la lecture, l'écriture ou encore la possibilité de supprimer des données (erase). Il y a aussi un code permettant d'activer les droits d'écriture sur un composant. Il faut donc activer l'écriture à chaque fois que l'on souhaite modifier les données sur le stockage. Par exemple, pour faire une écriture sur un composant, on commence par sélectionner la cible. Ensuite, on envoie le code permettant d'activer l'écriture. Une fois fait, il faut redémarrer la communication puis envoyer le code permettant d'écrire. Avant de pouvoir envoyer les données à écrire, il faut déplacer le curseur du composant en envoyant une adresse sur deux ou trois octets, les données seront ensuite écrites à partir de la nouvelle adresse du curseur. Lorsque l'on a fini d'envoyer les données, on arrête la communication en repassant \overline{CS} à 1.

Comme pour I²C, il y a une fonction `Control` qui est une machine à états qui reprend les étapes décrites dans le paragraphe précédent. Là aussi, pour utiliser la simulation, il faut modifier la fonction d'initialisation en ajoutant les composants de façon similaire à l'I²C. À noter que la simulation de la mémoire ne change pas et que l'on peut très bien configurer le même composant à la fois sur I²C et le SPI.

5.4 Système d'événements

À la fin de la conception de la simulation des interfaces I²C et SPI, il restait un problème important. Ce problème était que l'on ne pouvait pas savoir depuis les machines à états si les protocoles étaient utilisés correctement. Par exemple, si un utilisateur oubliait de redémarrer la communication après le déplacement du curseur pour une lecture I²C, il pouvait être très compliqué de trouver l'origine du problème. Cela est dû à la rigidité des machines à états pour la simulation des interfaces de ces deux protocoles. Si les étapes ne sont pas respectées à la lettre et que les bonnes fonctions ne sont pas appelées dans le bon ordre le résultat est indéterminé. C'est un énorme problème étant donné le fait que l'on ne sait plus d'où viennent les erreurs, du code ou de la simulation ? C'est une question qu'il est légitime de se poser étant donné la complexité de la simulation des interfaces du stockage.

Pour tenter de résoudre ce problème, un système d'événement a été pensé. Ce système est loin d'être parfait mais il peut éviter une partie des erreurs. Le principe est que les machines à états de l'I²C et du SPI enregistrent des événements au fur et à mesure de l'exécution. Une fois que l'on a terminé une action, on peut vérifier si les événements enregistrés sont bons. Par exemple, on peut essayer de faire un certain nombre de lectures avec le SPI. Le fichier du SPI fournit une fonction qui permet de générer la liste des événements attendus pour n lectures. Il suffit donc de comparer la suite d'événements attendus à celle des événements enregistrés pour savoir s'il y a un problème. Cela nécessite donc d'avoir un cas de test dédié qui fait la vérification des événements pour chacune des actions possibles.

TODO : détailler le système d'événements

TODO : CONCLUSION sur le stockage

6 Protocoles monétiques

Nous avons vu dans la partie précédente que les périphériques de stockage étaient interfacés avec les protocoles I²C et SPI qui sont deux protocoles assez courant dans les systèmes embarqués. La société

CKsquare est spécialisée dans la monétique et utilise donc beaucoup de périphériques interfacés avec des protocoles spécifiques à ce domaine. Une grosse partie du stage a été passée à la simulation d'interfaces utilisant deux protocoles très connus dans le milieu de la monétique, le Cctalk et le MDB. Dans cette section, nous allons présenter ces deux protocoles ainsi la solution proposée pour l'outil de test.

6.1 L'interface Cctalk

Une partie des composants utilisés sur la carte ont été interfacés avec le protocole Cctalk. Dans cette section, nous commencerons par détailler les grands principes de ce protocole puis nous verrons son implémentation par l'entreprise. Enfin, nous expliquerons comment les périphériques Cctalk ont été simulés.

6.1.1 Le protocole

Le Cctalk est un protocole utilisé dans la monétique dont la première version a été réalisée en 1996 par la société **Coin Controls** basée en Angleterre [7]. Ce protocole est un protocole série en halfduplex créé pour être utilisé pour des communications à débit moyen. En 2010 a été ajoutée la possibilité de chiffrer les trames (standard DES). Ce protocole est destiné à être utilisé pour assurer la communication entre différents composants reliés à une même carte.

Comme le SPI et l'I²C (et beaucoup d'autres protocoles utilisés en embarqué), le Cctalk fonctionne en mode maître et esclave. Ce standard utilise un système de d'entête pour transmettre des commandes. Par exemple, l'entête 253 permet de demander son adresse à un composant. Il y a en tout 256 entêtes différentes, numérotées de 0 à 255 ce qui permet la transmission d'une entête sur un octet. Les entêtes de 20 à 100 sont réservées pour les développeurs des applications utilisant le Cctalk, le reste est décrit dans la documentation [8]. Sur la figure 6 on peut voir la composition d'une trame Cctalk qui comprend six éléments. Le premier est l'adresse du composant ciblé par la trame (l'adresse du destinataire). Cette adresse est suivie du nombre d'octets de données qui vont être envoyées. Ce nombre étant transmis sur un octet, on ne pourra jamais transmettre plus de 255 octets de données. Ensuite, on envoie l'adresse de la source (le composant qui a envoyé la trame) puis l'entête. Une fois l'entête envoyée, on transmet les données puis le checksum qui va permettre de vérifier l'intégrité des données à la réception.

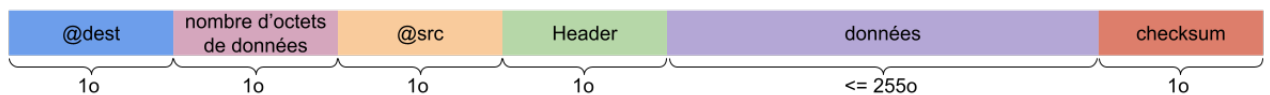


FIGURE 6 – Trame Cctalk

Prenons l'exemple de l'écran créé par la société. Ici, on souhaite afficher du texte sur l'écran, pour cela, on va utiliser l'entête 203 qui permet de contrôler ce composant [8]. Pour sélectionner l'action à réaliser, il faut utiliser une sous-entête. Dans le cas de l'écran, il y a cinq sous-entêtes permettant de réaliser des actions spécifiques à ce composant comme effacer l'affichage par exemple. Dans notre exemple, on souhaite envoyer du texte à afficher, pour ce faire, il faut utiliser la sous-entête 3. Ici, on va donc envoyer une trame dont l'entête sera 203 et les données seront la sous-entête 3 suivie du texte à afficher. L'écran doit normalement répondre par un acquittement (entête 0).

Un exemple plus complexe est celui du système vocal. Ici, on va demander au système vocal de lire un fichier audio. Là, il n'y a pas d'entête dédiée, la société a donc utilisé une des entêtes mise à disposition des développeurs : l'entête 34. Cette entête ne sert que pour réaliser cette action, il n'y a donc pas de

sous-entête à envoyer. La trame qui sera transmise au système vocal sera donc composée de l'entête 34 et des données requises à la lecture du fichier comme le nom du fichier à lire, le nombre de répétitions, ...

Maintenant que nous avons expliqué le fonctionnement général du protocole, nous allons nous intéresser au fonctionnement du code de l'entreprise.

6.1.2 Le code de l'entreprise

Dans le code de l'entreprise, le Cctalk est utilisé avec beaucoup de composants comme un accepteur de billets, un lecteur de cartes, mais aussi le système vocal de la borne ou encore l'écran tactile. Il y a un fichier pour chacun des composants interfacé en Cctalk et ces derniers permettent de gérer la partie maître. Comme pour le stockage, la simulation a au départ été pensée pour se situer au plus proche des fichiers du compilateur. Cela a nécessité une compréhension de toute la chaîne d'instruction qui permet la transmission des trames.

Pour l'implémentation du Cctalk, il y a deux fichiers principaux. Tout d'abord, il y a le fichier `CctalkMaster.c` qui permet de gérer la structure de données qui modélise les commandes. Ce fichier possède aussi une fonction `Control` qui permet de gérer les *Core Commands*, qui sont des commandes généralement exécutées à l'initialisation et qui permettent d'obtenir des informations sur les composants (constructeur, numéro de version, ...). Ensuite, il y a le fichier `CctalkMasterSerial.c` qui gère la communication. Ce second fichier sert de pont entre le code haut niveau des communs et le code bas niveau des bibliothèques du PIC. Pour l'envoi des trames, le fichier `CctalkMasterSerial.c` utilise deux machines à états, une *haut niveau* et une autre *bas niveau*. La machine à états *bas niveau* communique directement avec la bibliothèque de la carte, elle se charge de la transmission et de la réception des données (envoi d'une trame et réception de la réponse). La machine à états *haut niveau* va permettre l'envoi de différents types de trames. En effet, les trames Cctalk transmises par la machine *bas niveau* sont limitées à 255 octets de données. Pour palier à ce problème, la machine à états *haut niveau* permet d'envoyer des trames étendues. Le principe est de décomposer la trame à envoyer en plusieurs sous trames. Pour que le composant sache que la trame est une trame étendue, il faut envoyer deux trames supplémentaires avec une entête de début et une entête de fin. L'envoi d'une commande se fait donc de la façon suivante : on commence par appeler la fonction d'envoi de commande qui va ajouter la nouvelle commande à une liste chaînée. Ensuite, le `Control Manager` va appeler la machine à états *haut niveau* qui va utiliser l'autre machine à état pour envoyer une ou plusieurs trames en fonction du type de trame à transmettre (simple ou étendue).

L'implémentation par CKsquare du Cctalk propose beaucoup d'autres fonctionnalités qui n'ont pas été traitées lors du stage. Par exemple, pour limiter le polling sur certains composants comme l'écran tactile, les développeurs ont mis en place un système permettant à la carte de passer en mode esclave. L'interface du Cctalk est aussi utilisée avec le TCPIP. En effet, le Cctalk est fait pour assurer la communication entre les composants reliés à une même carte. Il peut arriver que l'on ait besoin de lier des composants qui ne sont pas directement connectés et pour ce faire on utilise le protocole TCPIP qui est le plus adapté. Le code de la société propose une abstraction qui permet de gérer tous les composants en utilisant seulement l'interface du Cctalk. Pour rendre cela possible, le code utilise des drivers qui fonctionnent à l'aide de pointeurs de fonctions.

6.1.3 Émulation des composants

Comme expliqué dans la partie précédente, le répertoire Cctalk contient les fichiers qui permettent de gérer la partie maître pour chacun des composants interfacés en Cctalk. Pour cette simulation, il fallait mettre en place du code permettant de simuler le comportement des esclaves (donc des composants) lors de la réception de trame. L'objectif des composants simulés est simplement de répondre aux commandes

Cctalk qu'ils reçoivent. Ces commandes peuvent être automatiques ou paramétrées dans les tests. Un effet de bord souhaitable pour la simulation est aussi la récupération de la trame reçue, de sorte à ce que l'on puisse vérifier que les bonnes commandes sont envoyées dans les tests.

Pour simuler les composants, il a été décidé d'utiliser un fichier par composant. Lors du développement, il a été jugé plus simple et plus sage d'adapter les principes utilisés lors de la simulation du stockage. Cette décision a pour objectif d'apporter un maximum de cohérence dans le fonctionnement de l'outil, cela pourra faciliter la maintenance ainsi que les modifications. De plus, les tests réalisés sur le stockage ont prouvé le bon fonctionnement de la solution. Enfin, pour faciliter la copie, les fichiers de la simulation adoptent une forme standard que nous détaillerons plus loin. La documentation met même à disposition un patron qu'il suffit de copier et de modifier pour simuler un nouveau composant.

Comme pour le stockage, la simulation devait se situer au plus proche des bibliothèques du compilateur. Cette approche a permis d'avoir une simulation très réaliste qui pousse à l'utilisation du tout le code créé pour gérer le Cctalk. C'est la première solution qui a été mise en place et qui a nécessité la compréhension de toute l'implémentation du protocole. Bien qu'il soit intéressant d'avoir une simulation réaliste permettant de faire des tests d'intégration qui valident toute la chaîne d'instruction, cette solution était relativement complexe et poussait les tests à dépendre de l'entièreté du code. Cela n'est pas souhaitable dans le cas où l'on veut faire des tests unitaires sur un fichier sans se préoccuper du reste de l'implémentation. Cela est intéressant car il permet de mieux repérer l'origine des problèmes car le code testé est isolé, ce qui fait que les échecs des tests sont dus uniquement aux erreurs dans le fichier testé et non aux erreurs dans le reste du code. C'est pour cette raison qu'une deuxième solution a été mise en place, permettant ainsi de faire à la fois des tests unitaires et des tests d'intégration. Pour mettre en place cette solution, une version modifiée du fichier `CctalkMasterSerial.c` a été créée. Dans cette version, les machines à états sont supprimées et sauvegarde de la trame reçue ainsi que l'envoi de la réponse du composant est géré directement depuis la fonction qui permet d'envoyer les commandes. De ce fait, quand un élément du code testé envoie une commande Cctalk, cette dernière est enregistrée et la réponse est directement envoyée. On ne passe donc plus par les machines à états, ni par les fichiers du compilateur, le code testé est donc bien isolé. Il est possible de passer d'une implémentation de la simulation à une autre en définissant une constante préprocesseur. À noter que ces deux solutions ont été pensées pour être interchangeables, de sorte à ce que les mêmes tests fonctionnent peu importe l'implémentation de la simulation.

Comme nous l'avons mentionné dans un précédent paragraphe, tous les fichiers de la simulation ont la même forme. Après plusieurs tests, une *forme standard* pour la simulation a été créée. Chaque fichier se compose des trois fonctions suivantes :

- **Control** : Cette fonction est utilisée avec la simulation bas niveau qui est la première solution créée. Cette fonction est une machine qui se compose de trois états. Dans le premier état, la machine fait la vérification de l'adresse sur la commande envoyée sur le bus par le code testé. Si cette adresse ne correspond pas à l'adresse du composant simulé, la machine s'arrête. Dans le cas contraire, la machine commence par récupérer la trame sur le bus pour que cette dernière soit accessible depuis les tests. Ensuite, elle envoie un écho qui permet de spécifier au maître que la trame a bien été reçue. Enfin, la machine à état envoie la réponse au maître en fonction des données qu'il a reçu, en utilisant les fonctions du compilateur.
- **Run** :
- **HandleResponse** :

TODO : 1 fichier par composant, trois fonctions (Control, Run et HandleResponse), 2 utilisations possibles, ...

TODO : parler de comment cette solution finale a été trouvée et des premières versions créées (cf : notes week 9)

TODO : l'interface cctalk a été réécrite pour envoyer directement les réponse aux commande dans une seconde version de la fonction CmdSnd ... (TestLibraries++)

6.2 L'interface MDB

Dans la partie précédente nous avons traité le fonctionnement du protocole Cctalk et nous avons aussi vu comment les composants Cctalk ont été simulé pour faire fonctionner les tests. Dans cette partie, nous allons traiter un autre protocole utilisé avec d'autres composants, le protocole MDB. Cette partie va suivre un plan similaire à la précédente.

6.2.1 Le protocole

TODO : [9]

6.2.2 Le code de l'entreprise

6.2.3 Émulation des composants

6.2.4 Système de scénarios

7 Les historiques

Dans cette section, nous allons nous intéresser aux historiques. Les historiques (de paiement, d'évènements) sont stockés dans une base de donnée circulaire. C'est un élément important car la sauvegarde des historiques est juridiquement obligatoire quand ils concernent la monétique. Dans cette partie, nous commencerons, dans un premier temps, par détailler le fonctionnement de la structure de donnée et des tests qui ont été fait dessus. Dans un second temps, nous traiterons le fonctionnement des historiques.

7.1 Les CDBs

Tous les historiques sont stockés dans une base de donnée circulaire (CDB signifie *Circular Data Base*). La première partie des tests concernant les historiques va porter sur la validation du bon fonctionnement de cette base. Un point important concernant cette structure est que les CDB sont stockées en mémoire (généralement sur des eeproms). Les tests qui vont être réalisés sur cette structure vont permettre de valider le fonctionnement de l'émulation du stockage. De plus, ils vont constituer un exemple intéressant qui pourra être décrit dans la documentation.

TODO : fonctionnement des CDB.

TODO : réutilisation du stockage.

7.2 Tests des historiques

TODO : pour conclure cette partie dire que c'est un problème avec les historiques qui a donné l'idée du stage à l'entreprise.

8 Mise en place de la pipeline

9 Déroulement du projet

Dans cette dernière section, nous allons nous intéresser aux méthodes de travail et aux outils utilisés durant ce stage. Nous ferons ensuite la comparaison entre le planning prévisionnel et le planning réel.

9.1 Les outils utilisés

Dans cette partie, nous allons faire une revue des outils utilisés pendant le stage. Les outils les plus utilisés ne seront pas détaillés, par contre, cette partie a pour but de mettre en lumière les avantages qu'il y a à connaître et configurer ses outils de travail.

9.1.1 Gestion de version

Pour la réalisation du projet, le gestionnaire de version utilisé était Git. À noter que la société n'utilise Git que depuis un an, le gestionnaire de version qu'ils utilisaient avant était SVN.

L'avantage de Git est qu'il est assez simple d'utilisation mais propose tout de même des fonctionnalités très complexes. De plus, par rapport à SVN, Git est décentralisé et permet de faire des branches ce qui a été très utile pour éviter que le projet de tests pose problème.

La philosophie de travail utilisée a consisté en une version adaptée de Gitflow. Le principe de Gitflow est d'avoir une branche **master** qui va contenir les versions du projet. Ensuite, il y a une branche **dev** qui est utilisée pendant le développement. La branche **dev** contient du code fonctionnel mais qui n'est pas encore déployé sur **master**. Entre les branches **master** et **dev** il doit normalement y avoir une branche **release** qui contient des pré-versions mais elle n'a pas été utile ici. Enfin, à partir de la branche **dev**, on crée des branches de **features** sur lesquelles on développe les nouvelles fonctionnalités. Étant donné que le travail se faisait seul, le fait d'utiliser Gitflow avec autant de branches n'était pas vraiment nécessaire. Cependant, cette méthode permet d'être très organisé. Cela permet par exemple de toujours avoir du code fonctionnel présentable à un collègue. De plus, cette organisation des branches permet de ne pas se perdre et de ne jamais caser du code fonctionnel. L'avantage des branches est que l'on peut facilement faire des tests pour savoir si une solution est réalisable.

À noter que l'équipe de développement de CKSquare utilise l'application **gitahead**. Cette application n'a pas été utilisée pendant le développement du projet de tests. C'est l'interface en ligne de commande de Git qui a été privilégiée ainsi que l'utilisation du plugin **fugitive** sur neovim.

9.1.2 Doxygen

TODO : Génération automatique de la documentation à partir des commentaires laissés dans le code. Présentation rapide de doxygen

9.1.3 GDB

TODO : Un des objectifs de ce stage était de progresser sur l'outil GDB.
TODO : utilisation avancée de gdb
TODO : configuration de gdb

9.1.4 IDE

TODO : nvim -> vim-fugitive, clangd, l'intégration de gdb ... Présentation rapide de ma configuration.

9.2 Rédaction de la documentation

9.3 Planification des tâches

Les tâches prévues lors du stage étaient les suivantes. Au départ, il était prévu de faire le choix du framework de tests puis de faire une revue des éléments du code à tester. Ensuite, il était prévu de faire des tests sur des fichiers simples pour s'habituer au code de l'entreprise et aussi permettre de compiler une première partie du projet. Une fois le projet pris en mains, l'objectif était de s'attaquer aux grandes parties qui étaient tout d'abord le stockage, puis le Cctalk et le MDB. Les historiques devaient être testés à la fin du fait de leur dépendance au stockage. Il était aussi prévu de réaliser de la documentation en parallèle tout au long du projet.

Diagramme de Gantt prévisionnel

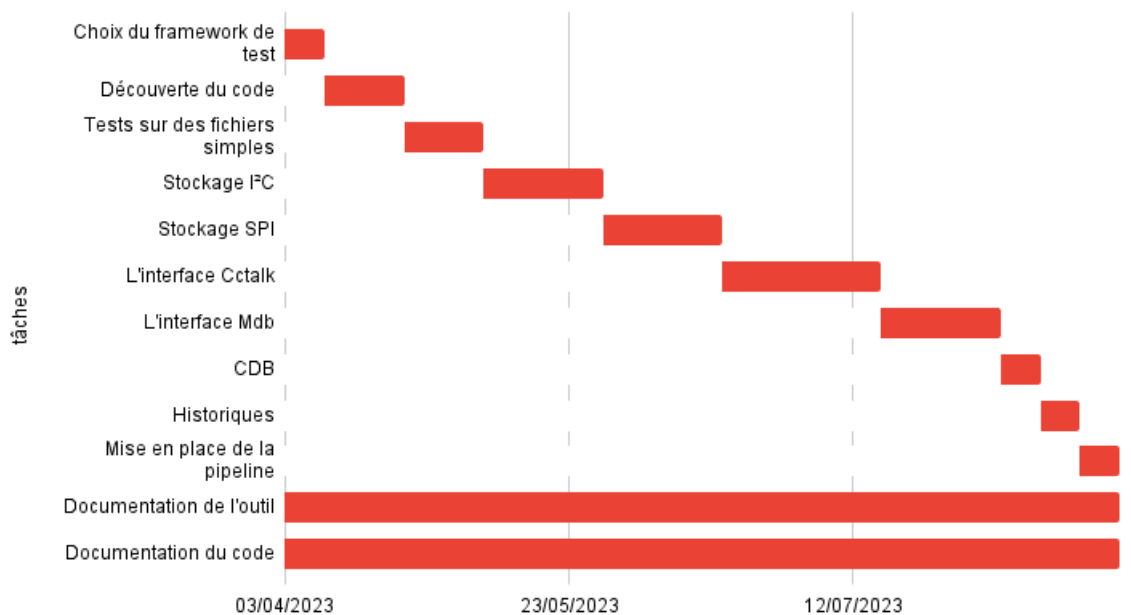


FIGURE 7 – Diagramme de Gantt prévisionnel

L'organisation de ces tâches a été faite sans connaissance de la complexité du code. Certains des composants de l'outil final ont été refaits plusieurs fois car les résultats ne satisfaisaient pas les critères nécessaires à leur validation. C'est le cas du stockage où au départ il avait été fait le choix d'utiliser des threads, un choix qui a été remis en cause par la suite. Un autre exemple serait celui du Cctalk dont certaines parties ont été réécrites suite à l'implémentation de l'émulation des composants MDB pour ajouter plus de cohérence. Malgré le fait que certains éléments ont été refaits, le développement a pris moins de temps que prévu. Les tâches ont été surévaluées du fait du manque de connaissances sur certains éléments comme les protocoles par exemples.

NOTE : diagramme actuel

Diagramme de Gantt actuel

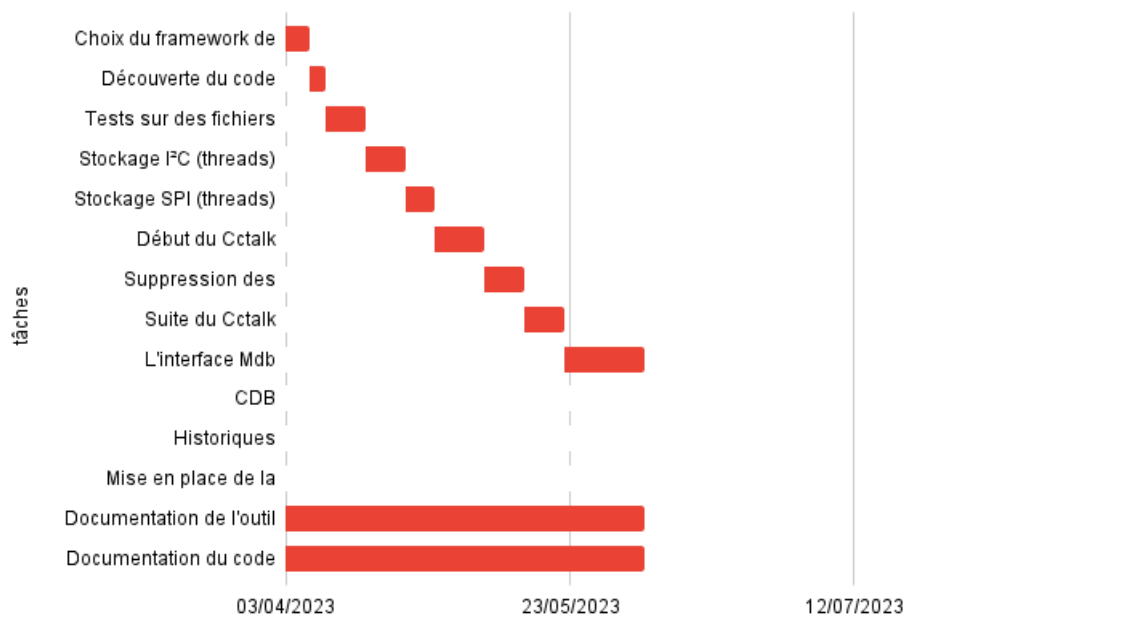


FIGURE 8 – Diagramme de Gantt actuel.

Troisième partie

Résultats et discussions

1 L'outil final

Description de l'outil final réalisé à la fin du stage.

TODO : Rétrospective sur le choix du framework (problème macros, ...).

2 Discussion et perspectives

Regard sur ce qui a été fait et comment cela a été fait (parler de l'échec des threads, manque de bibliographie, ...). Parler de ce qui reste à faire ou à améliorer.

3 Développement durable

NOTE : Je ne sais pas comment nommer cette partie, elle doit correspondre à la réflexion sur les enjeux actuels liés à la responsabilité sociétale et environnementale demandée par la CTI.

Conclusion

CONCLUSION

4 Résumé biblio (WARN : section temporaire)

Test affichage biblio :

- [1] : liste des frameworks sur Wikipédia
- [10] : définition fixture Wikipédia
- [2] : tester des machines à états
- [3] : présentation du protocole I²C
- [5] et [6] : présentation du protocole SPI
- [11] : test de systèmes embarqués en utilisant de la simulation. Très différent du projet mais il y a des point intéressants.
- [12] : simulation pour CI sur systèmes embarqués
- [13] : intégration continue sur les systèmes embarqués.
- [14] : livre sur les frameworks de tests (p 42 : mocking)
- [7], [8],[15] : trois premières parties de la doc cctalk
- [9] : doc mdb

Bibliographie

- [3] J. MANKAR, C. DARODE, K. TRIVEDI, M. KANOJE et P. SHAHARE, "Review of I2C protocol," *International Journal of Research in Advent Technology*, t. 2, n° 1, 2014. adresse : <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=314537daa1f601f83044b25b68e2af6c8f331f>
- [5] P. DHAKER, "Introduction to SPI interface," *Analog Dialogue*, t. 52, n° 3, p. 49-53, 2018. adresse : https://b2.sisoog.com/file/zmedia/dex/cd38acc402d52de93a241ca2fcb833b5_introduction-to-spi-interface.pdf.
- [6] L. L. LI, J. Y. HE, Y. P. ZHAO et J. H. YANG, "Design of microcontroller standard SPI interface," in *Applied Mechanics and Materials*, Trans Tech Publ, t. 618, 2014, p. 563-568. adresse : https://www.researchgate.net/profile/Jianhong-Yang-2/publication/286761932_Design_of_Microcontroller_Standard_SPI_Interface/links/58bfe7eba6fdcc63d6d1bb37/Design-of-Microcontroller-Standard-SPI-Interface.pdf.
- [7] C. P. SOLUTIONS, *ccTalk Serial Communication Protocol - Generic Specification - Issue 4.7 (partie 1)*. "Crane Payment Solutions", 2013. adresse : <https://cctalktutorial.files.wordpress.com/2017/10/cctalkpart1v4-7.pdf>.
- [8] C. P. SOLUTIONS, *ccTalk Serial Communication Protocol - Generic Specification - Issue 4.7 (partie 2)*. "Crane Payment Solutions", 2013. adresse : <http://www.coinoperatorshop.com/media/products/manual/cctalk/cctalk44-2.pdf>.
- [9] E. TECHNICAL MEMBERS OF NAMA et EVMMA, *Multi-Drop Bus / Internal Communication Protocol*. "National Automatic Merchandising Association", 2011. adresse : https://www.ccv.eu/wp-content/uploads/2018/05/mdb_interface_specification.pdf.
- [11] J. ENGBLOM, G. GIRARD et B. WERNER, "Testing Embedded Software using Simulated Hardware," jan. 2006. adresse : https://hal.science/hal-02270472v1/file/7B4_J.Engblom_Virtutech%20%281%29.pdf.
- [12] J. ENGBLOM, "Continuous integration for embedded systems using simulation," in *Embedded World 2015 Congress*, 2015, p. 18. adresse : <http://www.engbloms.se/publications/engblom-ci-ew2015.pdf>.
- [13] T. MÅRTENSSON, D. STÅHL et J. BOSCH, "Continuous integration applied to software-intensive embedded systems—problems and experiences," in *Product-Focused Software Process Improvement : 17th International Conference, PROFES 2016, Trondheim, Norway, November 22-24, 2016, Proceedings 17*, Springer, 2016, p. 448-457. adresse : https://www.researchgate.net/profile/Torvald-Martensson/publication/309706302_Continuous_Integration_Applied_to_Software-Intensive_Embedded_Systems_-_Problems_and_Experiences/links/5beb0d4e4585150b2bb4d803/Continuous-Integration-Applied-to-Software-Intensive-Embedded-Systems-Problems-and-Experiences.pdf.
- [14] P. HAMILL, *Unit test frameworks : tools for high-quality software development*. " O'Reilly Media, Inc.", 2004. adresse : https://books.google.fr/books?hl=fr&lr=&id=2ksvdhnnWQsC&oi=fnd&pg=PT7&dq=c+unit+test+framework&ots=AM5ZXbSUG4&sig=jP11QzC00SPfnBQi6IKXWLPeNzo&redir_esc=y#v=onepage&q=c%20unit%20test%20framework&f=false.
- [15] C. P. SOLUTIONS, *ccTalk Serial Communication Protocol - Generic Specification - Issue 4.7 (partie 3)*. "Crane Payment Solutions", 2013. adresse : <http://www.coinoperatorshop.com/media/products/manual/cctalk/cctalk44-3.pdf>.

Webographie

- [1] WIKIPEDIA CONTRIBUTORS, *List of unit testing frameworks* — *Wikipedia, The Free Encyclopedia*, [Online; accessed 29-May-2023], 2023. adresse : https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=List_of_unit_testing_frameworks&oldid=1143492860 (visit  le 03/03/2023).
- [2] M. JONES, *TESTING STATE MACHINES*, 2009. adresse : https://accu.org/journals/overload/17/90/jones_1548/ (visit  le 03/03/2023).
- [4] WIKIP DIA, *I2C* — *Wikip dia, l'encyclop die libre*, [En ligne; Page disponible le 13-octobre-2022], 2022. adresse : <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=I2C&oldid=197726464>.
- [10] WIKIPEDIA CONTRIBUTORS, *Test fixture* — *Wikipedia, The Free Encyclopedia*, [Online; accessed 3-June-2023], 2023. adresse : https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Test_fixture&oldid=1152280894.

Glossaire

DES (Data Encryption Standard) algorithme de chiffrement symétrique.. 19

fullduplex tous les éléments peuvent parler en même temps.. 17

halfduplex deux émetteurs ne transmettent jamais des données en même temps.. 15, 19

PIC (Peripheral Interface Controller) famille de microcontrôleurs de l'entreprise Microship.. 9, 16, 20

protocole série protocole dont les éléments d'informations se succèdent sur une seule voie entre deux points.. 15, 17, 19

sous module git bibliothèques qui ont leur propre répertoire distant, elles sont stockées dans un projet à part sur Gitlab.. 8, 9

Table des annexes

A Extraits de codes pour les frameworks

35

A Extraits de codes pour les frameworks

Check

```
#include <check.h>

START_TEST(test_name)
{
    ck_assert(1 == 1);
    ck_assert_msg(2 == 2, "Should be a success");
}
END_TEST

Suite *simple_suite(void) {
    Suite *s;
    TCase *tc_core;
    s = suite_create("suite name");
    tc = tcase_create("test case name");
    tcase_add_test(tc_core, test_name); // adding tests
    suite_add_tcase(s, tc_core); // create the suite

    return s;
}

int main(void) {
    int number_failed;
    Suite *s;
    SRunner *sr;
    s = simple_suite();
    sr = srrunner_create(s);
    srrunner_run_all(sr, CK_NORMAL);
    number_failed = srrunner_ntests_failed(sr);
    srrunner_free(sr);
    return (number_failed == 0) ? 0 : 1;
}
```

Listing 1 – Check : Exemple simple

CUnit

```

/*****
/*                                     tests                                     */
*****/

void test_function(void) {
    CU_ASSERT(0 == 0);
}

/*****
/*                                     setup & teardown                         */
*****/

int init_suite(void) {
    return 0; // -1 for error
}

int clean_suite(void) {
    return 0; // -1 for error
}

/*****
/*                                     lancement des tests                       */
*****/

int main(void)
{
    CU_pSuite pSuite = NULL;
    /* initialize the CUnit test registry */
    if (CUE_SUCCESS != CU_initialize_registry())
        return CU_get_error();
    /* add a suite to the registry */
    pSuite = CU_add_suite("suite name", init_suite, clean_suite);
    if (NULL == pSuite) {
        CU_cleanup_registry();
        return CU_get_error();
    }
    /* Adding to the test suite */
    if ((NULL == CU_add_test(pSuite, "description", test_function)))
    {
        CU_cleanup_registry();
        return CU_get_error();
    }
    /* Run all tests using the CUnit Basic interface */
    CU_basic_set_mode(CU_BRM_VERBOSE);
    /* Run tests */
    CU_basic_run_tests();
    /* withdraw error number (for returning to pipeline) */
    unsigned int nb_errors = CU_get_number_of_suites_failed();
    /* registry cleanup */
    CU_cleanup_registry();
    return 0;
}

```

Listing 2 – CUnit : exemple simple

Criterion

```
// test basique
Test(suite_name, test_name) {
    cr_assert(1 == 1);
}

// avec des fonctions de setup et teardown
Test(suite_name, test_name, .init = setup_function, .fini = teardown_function) {
    unsigned char Expected[3] = {1, 2, 3};
    unsigned char Founded[3] = {1, 2, 3};
    cr_assert(eq(u8[3], Founded, Expected));
}

// This test will pass
Test(sample, passing, .signal = SIGSEGV) {
    int *ptr = NULL;
    *ptr = 42;
}
```

Listing 3 – Criterion : exemple simple

Minunit

```
MU_TEST(test_name) {
    mu_check(0 == 0); // ce test doit échouer
}

MU_TEST_SUITE(suite_name) {
    MU_RUN_TEST(test_name);
}

int main(void)
{
    MU_RUN_SUITE(test_suite);
    MU_REPORT();
    return MU_EXIT_CODE;
}
```

Listing 4 – Minunit : exemple simple

Munit

```
MunitResult test_function() {
    munit_assert_true(0 == 0);
    return MUNIT_OK;
}

/*****
/*                               test setup                               */
*****/

// setup all the tests
MunitTest tests[] = {
    {
        "test_name",
        test_function,
        NULL,                // setup function
        NULL,                // teardown function
        MUNIT_TEST_OPTION_NONE, // options
        NULL,                // test parameters
    },
    { NULL, NULL, NULL, NULL, MUNIT_TEST_OPTION_NONE, NULL } // end of the tests list
};

/*****
/*                               test suite setup                               */
*****/

static const MunitSuite suite = {
    "simple-test",
    tests,
    NULL, // no sub-suites
    1,    // iterations (utile avec les générateur de random number)
    MUNIT_SUITE_OPTION_NONE // no options
};

/*****
/*                               main                               */
*****/

int main(void)
{
    return munit_suite_main(&suite, NULL, 0, NULL);
}
```

Listing 5 – Munit : exemple simple

Unity

```
#include "unity.h"
#include "file_to_test.h"

void setUp(void) {
    // set stuff up here
}

void tearDown(void) {
    // clean stuff up here
}

void test_function(void) {
    //test stuff
}

// not needed when using generate_test_runner.rb
int main(void) {
    UNITY_BEGIN();
    RUN_TEST(test_function);
    return UNITY_END();
}
```

Listing 6 – Unity : exemple simple

Tau

```
#include <tau/tau.h>

TEST(foo, bar1) {
    int a = 42;
    int b = 13;
    CHECK_GE(a, b); // pass :)
    CHECK_LE(b, 8); // fail - Test suite not aborted
}

TEST(foo, bar2) {
    char* a = "foo";
    char* b = "foobar";
    REQUIRE_STREQ(a, a); // pass :)
    REQUIRE_STREQ(a, b); // fail - Test suite aborted
}

TAU_MAIN() // sets up Tau (+ main function)
```

Listing 7 – Tau : exemple simple