



Création d'un outil d'intégration continue pour tester du code embarqué

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 Analyse du problème	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
2.2 Fonctionnement du projet	10
2.2.1 Branche principale	10
2.2.2 Branche de l'événementiel	10
3 Organisation du projet de tests	11
3.1 Le répertoire Test principal	12
3.2 Les répertoires de test secondaires	13
3.2.1 Les fichiers modifiés	13
3.2.2 Les fichiers de la simulation	13
3.2.3 Les tests	13
3.3 Cmake	14
4 Simulation des horloges	14
5 Simulation du stockage	15
5.1 Échec des threads	16
5.2 Interface I ² C	16
5.3 Interface SPI	18
5.4 Système d'évènements	20
6 Protocoles monétiques	21
6.1 L'interface Cctalk	22
6.1.1 Le protocole	22
6.1.2 Le code de l'entreprise	23
6.1.3 Émulation des composants	23
6.1.4 Exemple de test	25
6.2 L'interface MDB	26
6.2.1 Le protocole	26
6.2.2 Le code de l'entreprise	27
6.2.3 Émulation des composants	27

6.2.4	Système de scénarios	27
6.2.5	Exemples de tests	28
7	Les historiques	28
7.1	Les CDBs	29
7.2	Sauvegarde des historiques	31
8	Mise en place de la pipeline	32
9	Les tests sur la branche de l'événementiel	33
10	Le projet de test sur la partie Qt	36
10.1	Nouveau framework	36
10.2	Le stockage	38
10.3	Les protocoles monétiques	38
10.3.1	La conception des classes	38
10.3.2	Exemple de composant simulé	40
10.3.3	Exemple de test	42
10.4	Les classes de test	42
10.5	La mise en place de la pipeline	44
11	Déroulement du projet	45
11.1	Les outils utilisés	45
11.1.1	Gestion de version	45
11.1.2	Gdb	45
11.1.3	Environnement de Développement	46
11.2	Rédaction de la documentation	46
11.3	Planification des tâches	48
III	Résultats et discussions	50
1	L'outil final	50
2	Discussion et perspectives	52
3	Développement durable	53
	Conclusion	54
A	Extraits de codes pour les frameworks	58
B	Test sur l'envoi des historiques sur le serveur	63
C	Exemple de scénario MDB	65

Remerciements

Parmi les membres de l'entreprise, je tiens à remercier mon tuteur Ludovic DESCOUT ainsi que Amine GHARBI pour leur accueil et les conseils qu'ils m'ont donnés durant le stage. Je tiens aussi à remercier Andy CHALENDARD et Louis PESTEIL qui m'ont guidé tout au long du projet. Parmi les membres de l'équipe Qt, merci à Denis GREFFET, Manel ELICHOOUIA et Quentin LAGIER pour leur aide concernant la mise en place de l'outil de test dans le code C++. Enfin, merci à Emmanuel BERTRAND dont les remarques ont aussi contribué à faire avancer le projet.

Parmi les professeurs de l'ISIMA, merci à mon tuteur Christian LAFOREST pour ses conseils quant au rapport et la soutenance. Merci aussi aux autres professeurs de l'école qui, à travers leurs enseignements m'ont permis d'être prêt pour mon premier stage en entreprise.

Table des figures

1	Produits CKsquare.	2
2	Logos des membres du groupe LPP.	3
3	Arborescence d'un projet CKsquare.	9
4	Arborescence du répertoire dev_pic.	9
5	Intégration des tests dans le code commun.	12
6	Liaison maître/esclave (I ² C).	17
7	Diagramme d'états de l'émulation de l'interface I ² C du stockage.	19
8	Liaison maître/esclave (SPI).	19
9	Machine à états de la simulation du stockage en SPI.	21
10	Trame Cctalk.	22
11	Diagramme de la classe : CAEMULATED_DEVICE.	38
12	Diagramme de la classe : SIMULATION.	39
13	Diagramme de la classe des composant Cctalk.	39
14	Diagramme de la classe : CCTESTCMDCTALK.	40
15	Diagramme de la classe de la simulation.	40
16	Diagramme de Gantt prévisionnel.	48
17	Diagramme de Gantt actuel.	49

Résumé

Ce rapport décrit le travail accompli dans la société CKsquare effectué dans le cadre du stage de deuxième année d'école d'ingénieur à l'ISIMA. Ce stage d'une durée de cinq mois avait pour objectif la mise en place d'un outil d'intégration continue permettant de tester le code utilisé sur les cartes électroniques de l'entreprise. Les tests devaient compiler et s'exécuter sur Linux pour permettre leur automatisation dans une pipeline Gitlab.

L'outil devait permettre de tester du code écrit en C et s'exécutant sur une carte électronique de type PIC. Le code C++, qui utilise la bibliothèque Qt et qui s'exécute sur une carte type Beagle devait aussi pouvoir être testé. Le défi de cette tâche réside dans le fait que les composants électroniques connectés aux cartes devaient être simulés pour permettre de tester les différents programmes. De plus, les composants électroniques sont interfacés avec des protocoles qui n'étaient pas connus avant le stage et qu'il a donc fallu découvrir.

L'outil créé à la fin remplit bien le cahier des charges, la simulation des composants permet bien d'exécuter et de tester le code et les tests ont correctement été automatisés dans une pipeline Gitlab.

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

Abstract

This rapport describes the work accomplished in the CKsquare company during the second year internship in the engineering school of ISIMA. This objective of this five months long internship was to create of a continuous integration tool able to test the code used in the company's circuit boards. The tests had to be compiled and executed on a Linux system in order to be automated in a Gitlab pipeline.

The tool had to be able to test C code running on PIC circuit boards as well as C++ code running on Beagle board and using the Qt library. The challenge was the fact that the electronic components normally connected to the boards had to be simulated in order to test the various programs. Moreover, the electronic components are interfaced using protocols that were unknown before this internship.

The resulting tool completes all the specifications, the simulation of the electronic components allows the code and the tests to run without being on the circuit board. Finally, the tests have been automated in a Gitlab pipeline.

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

Introduction

Dans ce rapport, nous allons présenter le travail réalisé au sein de l'entreprise CKsquare dans le cadre d'un stage d'une durée de cinq mois. L'objectif du stage était la création d'un outil permettant l'automatisation de tests sur du code embarqué depuis une pipeline Gitlab.

Le code de l'entreprise doit normalement être exécuté sur des cartes électroniques. Les tests doivent être exécutés dans une pipeline où l'on n'a pas accès aux cartes. Pour rendre cela possible, les composants électroniques normalement reliés à la carte ont été simulés. À noter également que l'outil de test doit être utilisé sur la partie du code qui est commune à tous les projets de l'entreprise, il n'est pas fait pour tester toute une application, mais seulement les blocks communs.

Au départ, le stage ne portait que sur la création d'un outil permettant de tester une partie du code écrit en C. La mise en place de cet outil est complètement détaillée dans ce rapport. Cependant, cette première implémentation a pris moins de temps que prévu au départ ce qui a rendu possible l'implémentation de l'outil sur la seconde branche du code C (la branche de l'événementiel) ainsi que sur la partie C++ (partie Qt).

Dans cette présentation, nous commencerons par expliquer le choix du framework de test qui a été utilisé pour créer l'outil. Ensuite, nous aborderons l'organisation du projet ainsi que son fonctionnement général pour permettre une meilleure compréhension des choix qui ont été fait durant le développement. Dans les parties suivantes, nous traiterons la résolution du problème principal de ce stage en expliquant la simulation des divers éléments. Une fois que nous aurons détaillé le fonctionnement de l'outil et de la simulation, nous verrons la mise place de la pipeline qui permet l'automatisation des tests sur Gitlab. Nous parlerons ensuite de la mise en place de l'outil sur la branche événementiel du C et sur les communs Qt. Enfin, nous nous intéresserons au déroulement du projet avant de présenter les résultats.

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 élargit 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 40 000 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 basée 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 du stage 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. L'intérêt pour l'entreprise est de pouvoir détecter un maximum de problèmes le plus tôt possible et de manière automatique pour ne pas envoyer du code non fonctionnel en production. Le code doit normalement s'exécuter sur une carte électronique qui gère différents composants. La carte et les composants électroniques ne seront pas accessibles dans la pipeline, il faudra donc simuler les composants pour pouvoir tester le code.

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. Ici, le produit final n'est pas tellement le code en lui-même, mais plus la méthode employée pour mettre en place les tests.

À noter que l'objectif du projet n'est pas d'écrire des tests, la philosophie de l'entreprise est que ce sont

les développeurs qui testent leur code. Des tests ont été écrits durant le stage, 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.

Enfin, concernant les limites du projet, l'objectif est de pouvoir tester les bibliothèques communes aux différents projets. Cela comprend le code commun de la partie C ainsi que le code commun de la partie Qt (C++). À noter que pour la partie C, il y aura deux branches à traiter, et ces dernières ont un fonctionnement différent, il faudra donc adapter l'outil de test pour les deux branches.

Maintenant que nous avons décrit les bases du projet, intéressons-nous un peu plus en détail au problème posé.

3 Analyse du problème

Le but du stage est de créer un outil permettant de faire de l'intégration continue. De ce fait, cela va nécessiter de trouver un framework de test complet, mais aussi suffisamment simple d'utilisation. En effet, les développeurs de l'entreprise ne sont pas nécessairement formés à l'utilisation de ce type d'outils. Concernant le framework, il faudra aussi que ce dernier soit simple à mettre en place dans une pipeline. Cela signifie que les frameworks disponibles dans les bases des gestionnaires de paquets seront privilégiés.

Comme mentionné dans la partie précédente, l'outil sera utilisé pour tester du code normalement 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 simuler 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. De plus, les composants électroniques sont interfacés avec différents protocoles. Il faudra donc comprendre le fonctionnement de ces protocoles ainsi que leur implémentation par l'entreprise pour pouvoir simuler une communication réaliste entre la carte et les composants. Le fait de devoir faire de la simulation pour les tests peut être complexe si le framework choisi n'est pas adapté. Il faudra que le framework de test soit suffisamment flexible et offre un maximum d'outils pour tester les structures de données qui vont être utilisées dans la simulation.

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. Ici, on ne pourra pas utiliser MPLAB (IDE fourni par Microship) et les compilateurs utilisés par l'entreprise à cause de la simulation. Le compilateur utilisé sera gcc et une partie des bibliothèques de Microship sera modifiée pour arriver à générer un exécutable.

Enfin, le plus gros défi de ce stage va être le fait de comprendre et d'utiliser le code de l'entreprise. En effet, la taille du code est assez conséquente et beaucoup de choses ont été réécrites par l'entreprise, notamment des bibliothèques du compilateur. Il faudra soigneusement choisir ce qui va être simulé et où va se placer la simulation, car tout le code ne pourra pas certainement pas être testé. Par exemple, la partie concernant le protocole TCPIP est assez ancienne et suffisamment complexe pour que les développeurs de l'entreprise ne souhaitent pas la modifier ou la tester.

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 a 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 quant 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 des prés tri et d'éliminer les frameworks incomplets ou trop peu utilisés. Une fois la liste des meilleurs frameworks terminée, il a fallu trouver des critères pour les comparer.

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. Bien que ce critère ait été pris en compte pour le choix du framework en début de projet, nous verrons dans la section 10.1 qu'un autre framework a au final été utilisé pour Qt.

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 du programme à tester. 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 va nécessiter la conception de fonctions et macros (pour réduire la complexité) et rallonger 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 fallu 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 projets importants ont souvent beaucoup plus de collaborateurs ce qui peut accélérer la correction des bugs ou la vitesse de réponse aux issues. Enfin les dates de dernières mises à jour 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 les problèmes que cela pose dans la conclusion de cette partie.

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 expliquerons 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 à cause de certaines erreurs comme les erreurs de segmentation. La bibliothèque Check est disponible avec un paquet aptitude, ce qui le rend simple à installer et c'est aussi une bonne preuve de sa popularité. 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, il n'est pas compatible 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 20 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 14 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. 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 un problème.

On peut voir sur le listing 15 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 16 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 simple 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. 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 générateurs de nombres aléatoires.

On peut voir sur le listing 17 de l'annexe A comment s'utilise Munit.

Unity

Framework de test spécialisé pour les systèmes embarqués, il est léger et simple. Il ne permet pas de construire une structure de tests très complexe (seulement de simple test) mais possède beaucoup de fonctions d'assertion. En terme d'interface, le framework propose une collection de macros simples et lisibles.

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 18 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 19 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'avantages. 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 ou encore les théories (tests des vecteurs d'entrées et de sorties).

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 composants 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 choisi possède donc beaucoup de qualités, mais aussi quelques défauts. Au final, bien qu'il ne soit pas parfait, il remplit bien son rôle et 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 ait encore des défauts 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, 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 faits par la suite.

2.1 Organisation des fichiers

Dans cette partie, nous allons résumer l'organisation des 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. Elle fait 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.

Comme on peut le voir sur l'arborescence de la Figure 3, chaque projet comporte une partie locale ou les noms de fichiers commencent par `I`. Cette partie contient tous les fichiers qui sont spécifiques au projet courant (fonction d'initialisation, fonction principale, ...). Chaque projet contient au moins deux fichiers de configuration qui sont des fichiers d'entête contenant des constantes préprocesseur utilisées pour faire

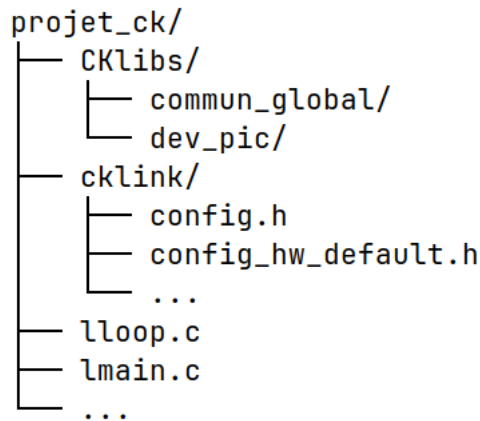


FIGURE 3 – Arborescence d'un projet CKsquare.

de la compilation conditionnelle. La gestion de la configuration s'est avérée complexe pour créer l'outil de test à cause du grand nombre d'options. Chaque projet contient aussi un répertoire `CKLibs` dans lequel se trouvent des sous module 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 projets C, C++ et python. Le second sous module est `dev_pic`, ce dernier ne concerne que la partie C.

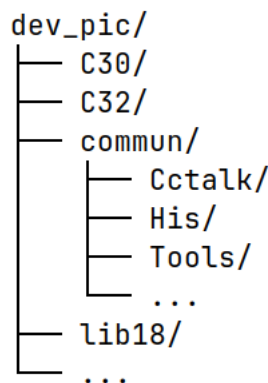


FIGURE 4 – Arborescence du répertoire `dev_pic`.

La partie que nous allons traiter se trouve dans le répertoire `dev_pic` (aussi appelé codes communs C). Comme on peut le voir sur la figure 4, ce répertoire possède un sous répertoire `commun` qui contient la partie du code à tester. À la racine des communs, se trouvent aussi une partie des bibliothèques des différents compilateurs. L'entreprise CKsquare a réécrit une grande partie de ces bibliothèques pour avoir plus de maîtrise quant 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 répertoire `commun` s'organise en 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.

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

2.2 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 et 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.

2.2.1 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 interroger le composant durant son exécution, par exemple savoir s'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 quels états 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.

2.2.2 Branche de l'événementiel

Cette branche a été créée pour simplifier le code, elle utilise un système mis en place sur la partie Qt (code C++) qui permet de déclencher des appels de fonctions en émettant des signaux. Le deuxième objectif de ce système est de limiter les appels de fonctions dans la boucle principale. En effet, sur l'autre branche, les fonctions `Control` des composants sont continuellement appelées par le `Control Manager`, ce qui peut poser des problèmes de performance. Ici, les fonctions qui gèrent les composants ne sont appelées que lorsqu'un évènement est émis. Par exemple, lorsqu'une trame est envoyée, un évènement est émis

pour signifier la fin de la communication. Cela aura pour effet de déclencher l'appel de la fonction de gestion du composant qui a envoyé la trame. Cette fonction est une machine à états qui passera dans un état d'attente de réponse (par exemple). Le défaut de ce système est qu'il nécessite l'utilisation de structures de données assez lourdes en mémoire, cependant, ce défaut est compensé par le fait que la taille du code diminue fortement.

Le fonctionnement de ce système repose sur deux structures de données, les **SMs** et les **Connects**. **SM** signifie *State Machine*, comme son nom l'indique, cette structure permet de gérer les machines à états. La seconde structure de données permet de gérer les signaux. Ici, les fonctions **Contro** sont remplacés par des fonctions **SwitchControl** qui prennent en paramètre un **SM** qui va permettre la gestion de la machine à états dans la fonction. Les **SM** contiennent des pointeurs vers des données utiles pour les machines à états, comme des arguments ou encore une horloge spécifique à la machine.

Pour que l'appel à une fonction soit déclenché à l'émission d'un signal, il faut connecter la fonction au signal. Pour ce faire, on utilise la structure des **Connects**. Un **Connect** est un signal qui est connecté à une fonction. Lors de la connections, on spécifie les arguments à donner à la fonction qui est connectée. Lorsque l'on a créé un **Connect** et que ce dernier a été lié à une fonction, on peut utiliser une fonction **Emit**, qui va émettre le signal. Cela aura pour effet de déclencher l'appel de toutes les fonctions connectées au signal (immédiatement ou non). Ce système est très similaire à celui de Qt en C++.

À noter que les fonctions **SwitchControl** prennent aussi en paramètre un évènement. En effet, dans certains états, on ne souhaite pas que les machines soient lancées par n'importe quel signal. Pour palier à ce problème, on entre toujours dans une machine à état avec un évènement, et ce dernier sera vérifié ou non en fonction de l'état dans lequel se trouve la machine.

Ce système est assez élégant et très intéressant d'un point de vue génie logiciel. Il permet vraiment de simplifier le code et il est souvent plus intuitif dans son utilisation que le système de **Control Manager**. Par contre, ce n'est pas un système simple à mettre en place en C. Dans la section suivante, nous traiterons l'organisation du projet de test.

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 suit les principes expliqués dans la Section 2.1. De ce fait, les tests sont stockés à proximité des fichiers testés. Sur la Figure 5, on peut voir une représentation de l'arborescence des fichiers dans le projet 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. Le répertoire **Test** a été ajouté lors de l'intégration du projet de test dans le projet commun, ce dernier contient les fichiers généraux spécifiques aux tests. 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.

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

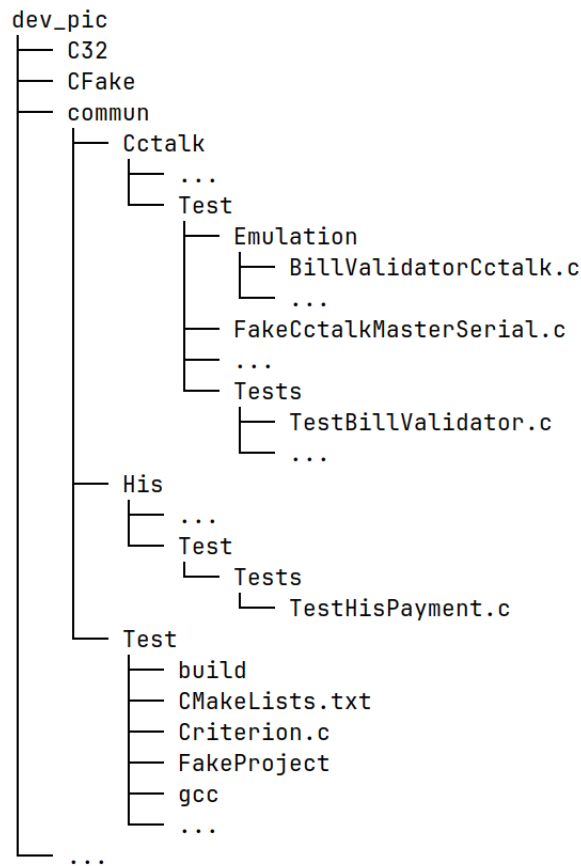


FIGURE 5 – Intégration des tests dans le code commun.

3.1 Le répertoire Test principal

Comme expliqué précédemment, ce répertoire contient des fichiers globaux qui permettent de pouvoir compiler et exécuter les tests. Les différentes parties sont décrites dans les sections suivantes.

Faux projet

Ce fichier contient des versions modifiées des fichiers du projet local (ceux dont le nom est préfixé d'un 1). Il contient aussi les fichiers de configuration. Pendant la création de l'outil, il s'est avéré qu'il y avait des dépendances entre les fichiers des communs et le projet local. Cela pose problème, car depuis la pipeline, on n'a pas accès aux fichiers locaux puisqu'ils sont spécifiques aux différents projets. Une solution envisageable est le clonage d'un projet depuis la pipeline, cependant cette méthode possède deux gros défauts. Le premier réside dans le fait de devoir cloner un projet entier juste pour exécuter une pipeline, cela prend du temps et des ressources. Le deuxième défaut vient du fait que la configuration des tests n'est pas la même que celle du projet local. En effet, dans les tests, on ne peut pas compiler tous les fichiers (car tout n'a pas été simulé et tout ne doit pas être testé) et l'on utilise une configuration qui permet de pouvoir tester plusieurs fonctionnements différents. De ce fait, il est impossible de compiler les tests en utilisant les fichiers originaux. C'est pour ces raisons qu'il a été décidé de récupérer seulement les fichiers nécessaires à la compilation des tests et de les modifier si besoin.

Gcc

Ce répertoire contient des versions modifiées des fichiers du compilateur `c32` (normalement stockés dans le répertoire `C32` à la racine des communs). Là aussi, les fichiers sont modifiés pour que le code puisse compiler avec `gcc`. À noter que ce répertoire contient un fichier créé à partir de la bibliothèque `plib` qui définit toutes les variables globales normalement utilisées par les bibliothèques `carte`. Tous les fichiers contenus dans ce répertoire permettent donc de compiler le code sans avoir accès aux bibliothèques du PIC.

Configuration de Criterion

Pour que les tests incluant l'émulation de composants fonctionnent, il faut pouvoir lancer et initialiser la simulation. Pour ce faire, on utilise un fichier qui fournit des fonctions d'initialisation et de terminaison globales qui peuvent être utilisées dans les tests. La fonction d'initialisation permet de créer les threads utilisés pour les horloges comme nous le verrons dans la Section 4 ainsi que d'initialiser toutes les variables nécessaires au bon fonctionnement de la simulation. Dans la fonction de terminaison, on termine simplement les threads des horloges. Dans ce fichier, on peut aussi ajouter d'autres fonctions spécifiques au framework.

3.2 Les répertoires de test secondaires

Comme dit précédemment, les développeurs de l'entreprise souhaitent stocker les tests à proximité des fichiers testés. C'est pour cela que l'on a des répertoires de test secondaires dans chaque répertoire du projet. Dans les sections suivantes, nous allons décrire le contenu de ces dossiers.

3.2.1 Les fichiers modifiés

Certains tests nécessitent la création de versions modifiées de certains des fichiers de l'entreprise pour permettre d'isoler des fonctionnalités du programme et faciliter les tests. Par exemple, les entrées et sorties sont gérées par un fichier nommé `Ios.c`. Il est très compliqué de savoir si les fonctions de ce fichier sont appelées depuis les tests or parfois, on a besoin de tester si une action d'entrée ou de sortie a été réalisée. Une version modifiée de ce fichier a donc été créée pour les tests. Les fonctions de la version test du fichier mettent à jour des variables globales accessibles depuis les tests permettant ainsi de savoir si des actions d'entrée ou de sortie ont été réalisées. Les versions test des fichiers sont compilés à la place des fichiers originaux pour les tests. Cette solution est similaire au *mocking* (au niveau des fichiers) qui est très utilisé avec les langages objets ??.

3.2.2 Les fichiers de la simulation

Les sous-répertoires de test permettent aussi de stocker les fichiers qui contiennent les éléments nécessaires à la simulation des composants. Par exemple, les fichiers qui permettent de simuler les composants interfacés avec le protocole `Cctalk` sont stockés dans le répertoire `commun/Cctalk/Test`. Nous traiterons ce protocole dans la Section 6.1.

3.2.3 Les tests

Pour les tests, on ajoute encore un nouveau sous-répertoire à l'arborescence. Chaque répertoire `Test` contient un sous-dossier `Tests` qui permet le stockage des fichiers de test.

3.3 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 donné le nombre de fichiers 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 poussé 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 bibliothèques 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 compiler 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 lancés par **CTest** après la compilation.

CMake permet donc de compiler les tests avec une configuration organisée et lisible en plus de fournir des outils facilitant l'exécution des tests. Dans la section suivant, nous parlerons des premiers composants qui ont été simulés durant le projet, les horloges.

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_Centime` 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 principal 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 3.1.

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 élément 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 interfaces a nécessité l’apprentissage des deux protocoles qui ne sont pas traités 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 était de pouvoir simuler les composants de sorte qu'ils se comportent comme les composants réels installés sur la carte. Pour ce faire, il était souhaitable que les composants simulés soient actifs 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 principal 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 principal, 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 utilisé des boucles infinies qui permettaient de faire attendre les threads. Par exemple, le programme principal était stoppé par une boucle pour attendre que les composants émulés s'exécutent et le débloquent. Cette solution a été utilisée au départ, car ce genre de boucles était 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 été 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 mêmes 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 ont 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 envoie un bit sur SDA. Ces deux lignes sont bidirectionnelles. Le schéma de la Figure 6 illustre le principe de l'I²C.

Pour démarrer la communication, le maître envoie un octet que l'on appelle *l'octet d'adresse*. Sur ce premier octet, les sept premiers bits correspondent 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 au maître. Si l'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 varier en fonction de ce qui a été demandé par la carte.

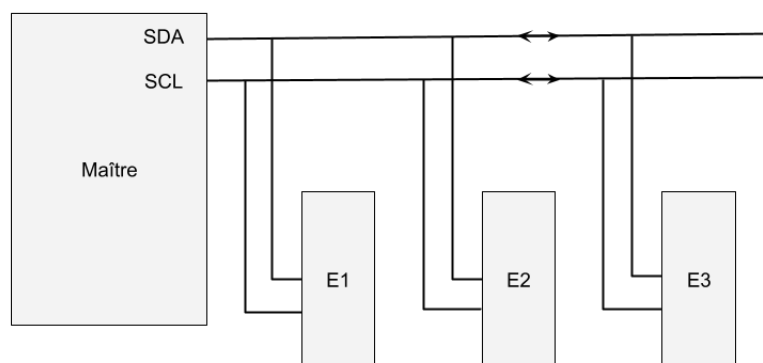


FIGURE 6 – Liaison maître/esclave (I²C).

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 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'autres 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 fallu 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 qu'elle 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 manière 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. Le compilateur sur lequel se base les tests est le `c32`, ce sont donc les bibliothèques de ce compilateur qui seront utilisées pour mettre en place la simulation. Ces fichiers mettent à disposition plusieurs fonctions permettant de démarrer et stopper la communication ainsi que d'envoyer des données (les fonctions correspondent à toutes les fonctionnalités décrites par le protocole). 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 écrire sur un composant, la carte démarre la communication puis envoie l'adresse du périphérique

de stockage auquel elle s'adresse avec le bit de mode à 0 (comme le demande le protocole). Ensuite, elle 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 flashs ne sont pas utilisées avec l'I²C). Enfin, la carte envoie les données à écrire sur le composant avant de terminer la communication. 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 apporte 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. On peut voir sur la figure 7 le diagramme représentant le fonctionnement de la machine à états de la simulation.

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.

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 a été faite à l'aide de deux documents partie précédente. L'étude de ce protocole a été 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'horloge. 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,

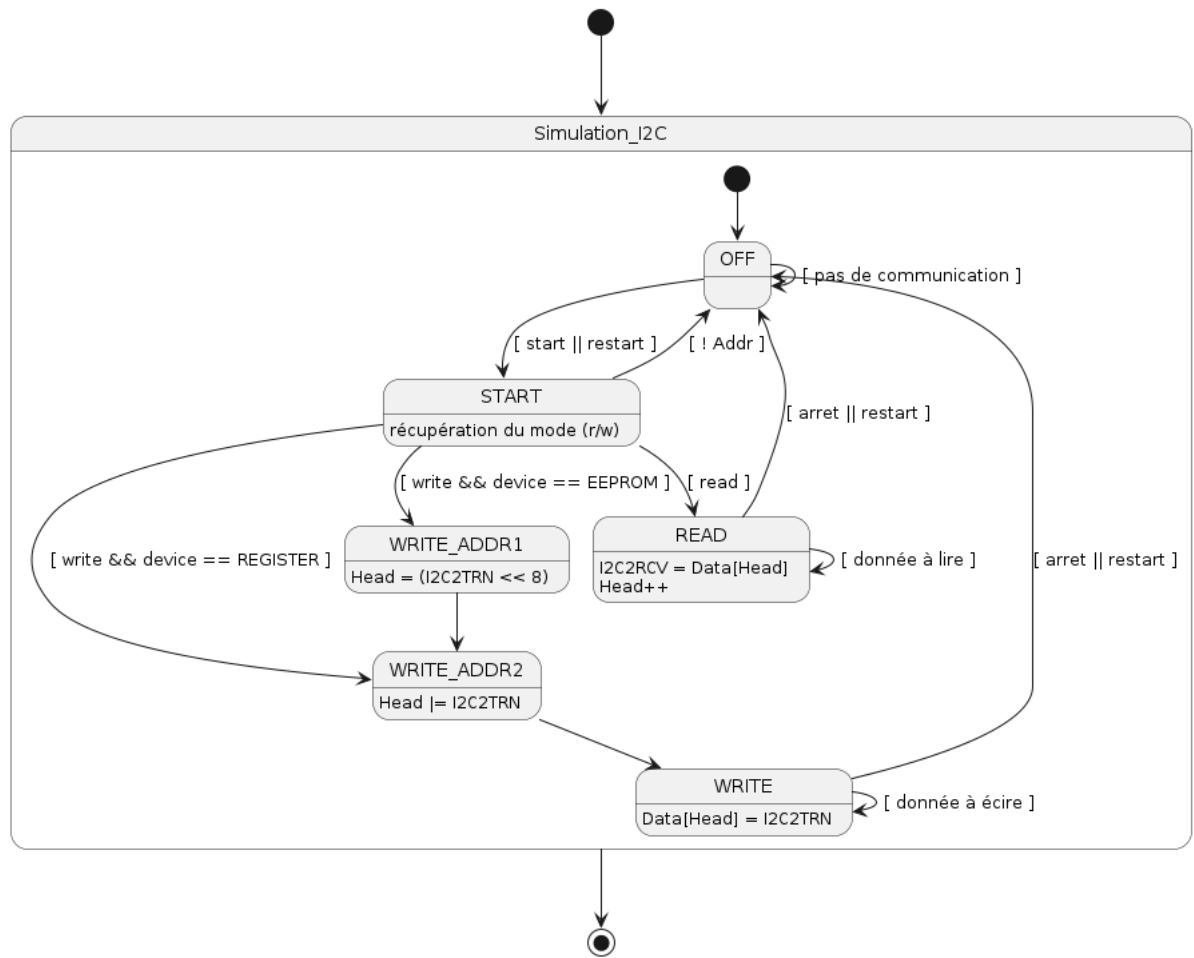


FIGURE 7 – Diagramme d'états de l'émulation de l'interface I²C du stockage.

quand elle est à zéro, de sélectionner le composant avec lequel on souhaite échanger. Cette ligne est reliée à un seul composant, il faut donc autant de lignes \overline{CS} (Chip Select) que d'esclaves. Sur la Figure 8, on peut voir un schéma représentant la liaison entre la carte et un composant en SPI.

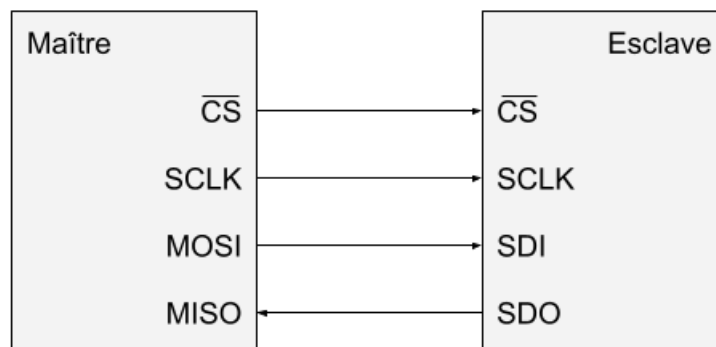


FIGURE 8 – Liaison maître/esclave (SPI).

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 été 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 utilisé 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. On peut voir sur la Figure 9 le diagramme de la machine à états du SPI.

Le principe de la simulation du stockage en SPI est donc semblable à celui de l'I²C. De plus, il n'y a pas de différence au niveau de l'utilisation des composants simulés dans les tests. Dans la section suivant, nous allons discuter d'un problème posé par cette simulation et de la solution qui a été utilisée.

5.4 Système d'évènements

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'évènements 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 évènements au fur et à mesure de l'exécution. Une fois que l'on a terminé une action, on peut vérifier si les évènements 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 évènements attendus pour n lectures. Il suffit donc de comparer la suite d'évènements attendus à celle des évènements enregistrés pour savoir s'il y a un problème. Cela nécessite donc d'avoir un cas de

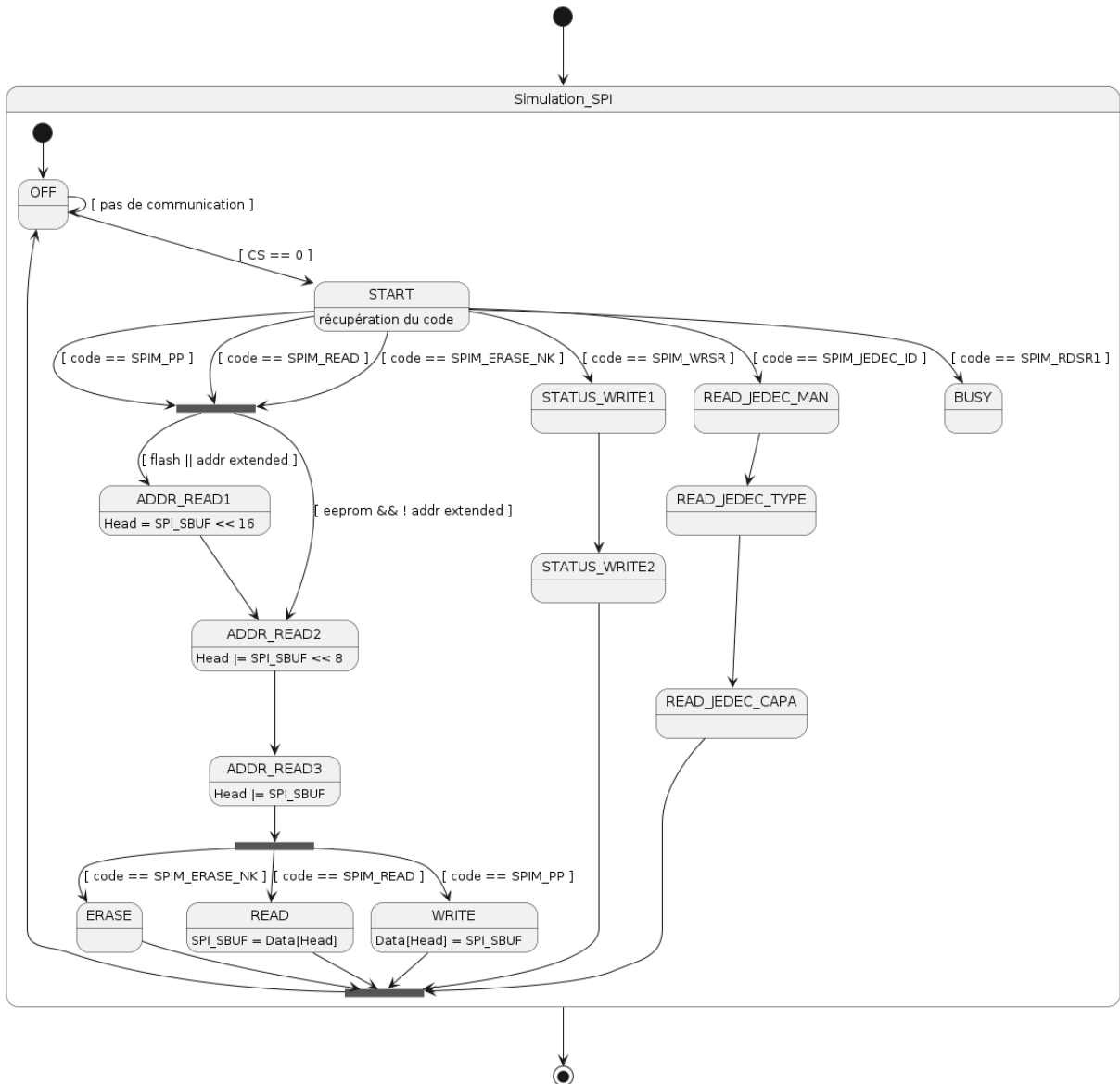


FIGURE 9 – Machine à états de la simulation du stockage en SPI.

test dédié qui fait la vérification des événements pour chacune des actions possibles.

Le stockage a représenté le premier défi en termes de simulation durant la réalisation de l'outil. Cela a nécessité l'apprentissage de deux protocoles ainsi que la compréhension d'une grande partie du code. Les fichiers du compilateur ont aussi dû être modifiés pour rendre la simulation possible. Au final, le système fonctionne bien et est assez simple à utiliser dans les tests. Dans la section suivante, nous allons traiter la simulation de composant interfacé avec deux nouveaux protocoles, le Cctalk et le MDB.

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, 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 différents, 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 10 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 10 – 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, ... Là aussi, le composant doit répondre par acquittement.

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 interfacés en Cctalk et ces fichiers 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* (interrogation d'un composant) 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 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, de ce fait, 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'intégrations. 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. La 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 alors 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 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. C'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 reçues, en utilisant les fonctions du compilateur.
- **Run** : Cette fonction permet de gérer la fonction décrite dans le point précédent. Elle fait une suite d'appels à la machine à états haut niveau de `CctalkMasterSerial.c` pour déclencher l'envoi d'une commande avec les fonctions des bibliothèques du compilateur. Ensuite, elle fait appel à la fonction **Control** qui récupère la commande du maître et envoie l'écho et la réponse. Enfin, elle fait une autre suite d'appels à la machine haut niveau pour déclencher la récupération de la réponse. La fonction **Run** est à utiliser dans les tests à chaque fois qu'une commande doit être envoyée, elle

permet gérer la simulation d'une communication entre la carte et un composant. À noter que cette fonction n'est utile qu'avec la version bas niveau (version où l'on teste tout le code), cependant, il existe une version vide de cette fonction qui permet de ne pas avoir à modifier les tests quand on passe de la version bas niveau à la version haut niveau.

- **HandleResponse** : Cette dernière fonction est utilisée avec la version haut niveau. Comme expliqué précédemment, dans cette version, tout est géré depuis la fonction `CmdSnd` de la version modifiée pour les tests du fichier `CctalkMasterSerial.c`. Ici, il n'y a qu'un seul fichier pour tous les composants ce qui pose problème pour les réponses prés définies. Pour pouvoir paramétrer des réponses pour plusieurs composants, on passe par un pointeur de fonction qui pointe sur la fonction **HandleResponse** du composant testé. Cette fonction se compose juste d'un `switch` qui va envoyer une réponse en fonction des données reçues. À l'initialisation de chaque test, il faut affecter l'adresse d'une fonction **HandleResponse** à la variable globale `HANDLE_RESPONSE`.

Maintenant que nous avons traité l'implémentation de la simulation des composants Cctalk, intéressons-nous à la façon dont on peut l'utiliser pour rédiger des tests.

6.1.4 Exemple de test

Dans cette section, nous allons traiter un exemple de test très simple sur l'écran Cctalk. Ici, on teste la fonction `DISPLAYCCTALK_Print` qui permet d'afficher du texte à l'écran. Comme on peut le voir sur le Listing 1, utilise la fonction à tester pour afficher le texte *"Commande simple"* (il y a un autre test sur cette fonction qui utilise une commande étendue). On sait que cette fonction doit envoyer une trame Cctalk contenant une entête spécifique à l'écran et une sous entête demandant l'affichage d'un texte. Le reste des données doit être le texte à afficher. Dans le test, on fait appel à la fonction d'affichage puis on utilise la fonction `Control` deux fois pour amener la machine dans l'état où la trame doit être envoyée. Ensuite, on lance le composant simulé qui va récupérer la trame et envoyer une réponse. Enfin, on peut tester que les données reçues par le composant sont correctes.

```
char *Data = "Commande simple";

DISPLAYCCTALK_Print(DISPLAYCCTALK_CUSTOMER, Data);
DISPLAYCCTALK_DisplayControl();
DISPLAYCCTALK_DisplayControl(); // envoi d'une commande étendue

TESTDISPLAYCCTALK_Run(); // lancement du composant
// validation de la commande
cr_assert(CCTALK_HEADER_DISPLAY == FRAMECCTALK_HeaderGet());
cr_assert(4 == FRAMECCTALK_DataGet(0)); // sous header
cr_assert(eq(u8[15], FRAMECCTALK.Data + 1, Data)); // texte
```

Listing 1 – Contenu du test de la fonction `DISPLAYCCTALK_Print`.

Cet exemple simple montre le bon fonctionnement du système de simulation et que l'on peut facilement avoir accès aux données transmises aux composants.

La simulation des composants Cctalk fonctionne donc bien et on peut aisément vérifier les trames envoyées par le programme de la carte depuis les tests. Dans la section suivante, nous traiterons l'autre protocole monétique utilisé durant le stage, le protocole MDB.

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 simulés pour faire fonctionner les tests. Dans cette partie, nous allons traiter un autre protocole utilisé avec d'autres composants, le protocole MDB. À noter que le fonctionnement du MDB dans le code de CKSquare ainsi que celui des composants simulés est très similaire au Cctalk, il y aura donc beaucoup de parallèles fait avec la partie précédente.

6.2.1 Le protocole

Le protocole MDB a été créé dans les années 1980 par la société *CoinCo* et a au départ été très utilisé dans les distributeurs automatiques de *Coca-Cola* [9]. Le protocole est devenu *open-source* en 1992 et la *National Automatic Merchandising Association* (NAMA) a réalisé la première version du standard en 1995.

Comme le Cctalk, le protocole MDB fonctionne en mode maître et esclave où la carte électronique est le maître qui contrôle les périphériques qui eux sont les esclaves. Pour que le maître puisse transmettre des ordres aux esclaves, le MDB utilise un système de commandes et de sous-commandes.

Comme le précise la documentation du protocole [10], la transmission des informations avec le MDB se fait sur neuf bits. Parmi ces neuf bits, il y a huit bits qui permettent de transmettre des données et le dernier bit est un bit de mode. Lorsque le bit de mode est à 0, les huit premiers bits contiennent des données. S'il est à 1, alors les huit premiers bits peuvent contenir l'adresse d'un composant cible (l'adresse du composant auquel s'adresse le maître), une commande spéciale ou un checksum. Les commandes spéciales sont ACK (acquiescement), NAK (non-acquiescement) et RET (demande de répétition). Un octet d'adresse contient généralement aussi une commande : un **ou** logique est fait entre l'adresse du composant et la commande à envoyer. À noter que le standard impose des adresses spécifiques pour chaque type de périphérique. Par exemple, un accepteur de billet doit avoir pour adresse 0x30. Les commandes envoyées avec l'adresse permettent de donner des ordres aux périphériques et chaque type de périphérique possède son propre jeu de commandes. Les commandes correspondent à des catégories assez génériques, par exemple pour l'accepteur de billet, 0x03 permet d'interroger le composant (pour savoir s'il y a un billet à été accepté par exemple). Ensuite, pour spécifier une action à réaliser on envoie à nouveau neuf bits avec le bit de mode à 0 et une sous-commande dans les données. On peut envoyer plus de données si besoin mais les sous-commandes doivent toujours apparaître au début.

Traisons l'exemple du début de la validation d'une vente simple avec un périphérique de paiement sans contacts. Ce scénario est décrit dans la documentation [10, p. 169]. Ici, la carte va commencer par interroger le composant en utilisant la commande *poll* (code 0x02). Les systèmes de paiement sans contacts ont pour adresse 0x10 ou 0x60, ici, la première trame sera donc composée de neuf bits. Le bit de mode sera à 1 car on souhaite interroger un composant, et pour ce faire, il faut envoyer son adresse sur le bus. La valeur des huit bits suivants est le résultat d'un **ou** logique entre la commande 0x02 et l'adresse du composant donc 0x12 ou 0x62. Ensuite, le composant va renvoyer neuf bits où le bit de mode sera à 0 et les huit bits suivants contiendront la commande 0x03, ce qui permet de démarrer une session (échange de trames). Une fois la session démarrée, la carte va demander s'il y a une vente à traiter, pour ce faire, on utilise la commande *Vend* (0x03) et cette dernière s'accompagne d'une sous-commande *Vend Request* (0x00). On peut noter ici que pour un même code, la commande correspondante sera différente en fonction de l'émetteur de la trame (maître ou esclave). La nouvelle trame sera donc composée de 18 bits : 0x113 (bit de mode à 1, adresse du composant 0x10 et commande 0x03) 0x000 (bit de mode à 0 et sous-commande 0x00). Ensuite le périphérique doit répondre par la commande *ACK*, donc ici, le bit de mode est à 1 et les huit bits suivants sont nuls. Comme mentionné plus haut, le reste du scénario est décrit dans la documentation du MDB.

Maintenant que nous avons décrit les bases du protocole, intéressons-nous au code de l'entreprise. On pourra ensuite étudier le fonctionnement de la simulation des composants.

6.2.2 Le code de l'entreprise

L'implémentation du MDB suis le même principe que celle du Cctalk sauf qu'ici, il n'y a pas plusieurs types de trames à gérer, le code est donc plus simple. Le protocole est géré par le fichier `MDBApi.c` qui contient la fonction `CmdSnd` qui permet d'enregistrer les commandes à envoyer. Ce fichier contient aussi une fonction `Control` qui correspond à la machine à état principale. Comme pour le Cctalk, la fonction `Control` interagit avec les fonctions du fichier `serial.c` qui fait partie des bibliothèques du compilateur. La fonction commence dans un premier temps par envoyer les différentes parties de la trame (adresse, données puis checksum), puis attend que la réponse soit disponible.

Lorsque l'on souhaite envoyer une trame, on utilise la fonction `CmdSnd`, qui va marquer la commande qu'elle reçoit en paramètre comme étant prête à être envoyée. Il n'y a pas de liste chaînée ici, toutes les commandes sont stockées dans un tableau et elles sont affectée aux différents composants lorsqu'ils sont enregistrés (à l'initialisation du programme). Toutes les commandes sont accessibles depuis le fichier `MDBApi.c` et elles sont simplement marquées pour être envoyées. Lorsque le `ControManager` appelle la fonction `Control` du fichier, cette dernière transmet toutes les commandes marquées et récupère toutes les commandes.

6.2.3 Émulation des composants

La simulation des composants interfacés en MDB a été réalisée dans la continuité de ce qui a été fait pour le Cctalk. Là aussi, on a un fichier par composant, et les fichiers ont une forme similaire.

Comme le Cctalk, la simulation MDB est disponible en deux versions, une *haut niveau* qui utilise une version modifiée du fichier `MDBApi.c` et une version *bas niveau* qui passe par toute la chaîne d'instructions jusqu'aux bibliothèques du compilateur. La grosse différence avec le Cctalk en terme d'utilisation est que la simulation ne propose pas de réponses prés-définie aux commandes envoyées par la carte. En effet, comme il peut y avoir beaucoup de réponses différentes pour une même commande, il a été décidé que les réponses des composants devaient être configurées à chaque fois. Cela signifie que dans les tests, il faut configurer une réponse avant l'envoi d'une commande. On a donc une grande maîtrise depuis les tests du fait qu'il est très simple de tester toutes les possibilités dans plusieurs tests. La forme des fichiers des composants simulés est aussi similaire à celle des fichiers du Cctalk. Il y a une fonction `Control` qui est utilisée avec la version *bas niveau* et qui a la même utilité que la fonction du Cctalk. Là aussi, il y a une fonction `Run` qui comme pour le Cctalk permet de lancer la simulation du composant depuis les tests lorsque la version *bas niveau* est utilisée. Comme il n'y a pas de réponse prés-définie, il n'y a pas de fonction `HandleResponse`. L'obligation de configurer toutes les réponses aux commandes rend certains tests complexes à écrire, c'est pour cela qu'un système de scénarios a été ajouté au MDB, ce système est décrit dans la Section 6.2.4.

6.2.4 Système de scénarios

Comme dit précédemment, les réponses aux commandes étant trop complexes, la simulation des composants MDB ne propose pas de moyen d'avoir des réponses prés définies comme avec le Cctalk. Par contre, ici, la documentation fournit des scénarios qui décrivent des échanges de trames entre le maître et les composants. Pour pouvoir vérifier si ces échanges de trames sont possibles avec le code de l'entreprise, un système de scénarios a été mis en place. Ce système permet de définir une suite d'envoi de commande par le maître et de réponse par l'esclave. À chaque fois que le composant simulé reçoit une trame, il vérifie que cette dernière correspond à celle prévue par le scénario avant de transmettre la réponse. Si la

trame reçue par l'esclave ne correspond pas à ce qui était prévue par le scénario, on fait échouer le test avec un `exit(1)`. À noter que seul le test sur le scénario joué échoue et les tests suivants sont exécutés correctement, car avec notre framework, chaque test s'exécute dans son propre thread. Cela simplifie grandement l'écriture des tests puisqu'il n'y a pas besoin de paramétrer les réponses du composant ni même de faire des assertions puisque si le test passe, c'est que le scénario a été joué correctement, sinon, c'est qu'il a planté. Ce système de scénario est donc un moyen très simple de valider le code CKsquare pour un type de périphérique.

L'implémentation de ce système est très simple, les scénarios sont composés d'étapes et chaque étape est modélisée par une structure. Les étapes sont stockées dans un tableau global. Lorsque l'on souhaite jouer un scénario, on appelle la fonction *play* correspondante au début du test. Cette dernière fait un enregistrement d'étapes dans le tableau global. Ensuite, l'envoi réponses et la vérification des commandes envoyées par la carte est automatique, il suffit juste d'appeler les fonctions du code pour passer par toutes les étapes du scénario. À noter que la plupart du temps, il faut initialiser les machines à états au préalable, car les étapes de démarrage ne sont pas prises en compte dans les scénarios. Sur l'annexe C, on peut voir la création du scénario de validation d'une vente simple pour un système de paiement sans contact décrit sur la documentation [10, p. 169].

Dans la section suivante, nous allons voir un exemple simple de test utilisant la simulation de composants MDB.

6.2.5 Exemples de tests

Dans cette section, nous allons traiter une partie d'un test réalisé sur le système de paiement sans contact. L'objectif de ce test était de vérifier le bon fonctionnement de la simulation du composant ainsi que de servir d'exemple aux développeurs. Ce dernier passe par une suite d'état dans la fonction `Control` de l'accepteur et vérifie les actions réalisées dans chaque état.

Dans ce test, la carte va interroger le composant qui va devoir envoyer sa configuration composée de son numéro de fabricant, son numéro de série, son modèle et sa version de logiciel. On peut voir sur le Listing 2 que le test commence par passer dans les états d'initialisation de la machine puis prépare les données à envoyer avant de recevoir le code du polling. Lorsque la commande est envoyée, le composant simulé répond. On relance ensuite la machine à état puis on vérifie que les bonnes modifications ont été faites.

À noter que ce composant était simple à tester, car les variables liées à la machine à état étaient toutes visibles. Cependant, parfois, les tests sont plus complexes à mettre en place, car on n'a pas accès à tout. Dans ce cas, il faut tester un maximum d'éléments secondaires accessibles pour s'assurer que la machine passe par les bons états, mais on ne peut pas toujours valider toutes les opérations.

La simulation des composants interfacés en Cctalk et en MDB fonctionne donc correctement et il est possible de tester le code qui doit interagir avec les composants. Dans la section suivante, nous allons nous intéresser à la gestion des historiques ainsi qu'à leur sauvegarde sur le serveur de la société.

7 Les historiques

Dans cette section, nous allons nous intéresser à la gestion des historiques (historique de paiement, ...). Ils sont stockés en mémoire sur la carte dans une base de données circulaire et ils sont régulièrement sau-

```

unsigned char PollData[33] = {
    0x09,                // sous-commande
    0,0,4,               // ManufactureCode
    0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1, // serial number
    0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,2, // model number
    0,3,                 // software version
    // rien ensuite car level 2
};

// initialisation du composant

// on prépare les données à envoyer au prochain polling
OUTPUTMDB_Set((char*) PollData,30);

MDBCASHLESS_ControlTest(); // CONTROL_INIT/InitializeControl: INITIALIZE_SETUP_CONFIG_CTRL
TESTTIMER_Wait(31);        // temps d'attente
MDBCASHLESS_ControlTest(); // CONTROL_INIT/InitializeControl: INITIALIZE_POLL_SND

TESTMDBCASHLESS_Run();
cr_assert(0x12 == FRAMEMDB_AddrCmdGet());

MDBCASHLESS_ControlTest(); // CONTROL_INIT/InitializeControl: INITIALIZE_POLL_CTRL
cr_assert(eq(u8[3],MDBCASHLESS_CONTROL.Devices[1].ReadConfig.ManufactureCode,PollData + 1));
cr_assert(eq(u8[12],MDBCASHLESS_CONTROL.Devices[1].ReadConfig.SerialNumber,PollData + 4));
cr_assert(eq(u8[12],MDBCASHLESS_CONTROL.Devices[1].ReadConfig.ModelNumber,PollData + 16));
cr_assert(eq(u8[2],MDBCASHLESS_CONTROL.Devices[1].ReadConfig.SoftwareVersion,PollData + 28));

```

Listing 2 – Test de l’interrogation du système de paiement sans contacte.

vegardés sur un serveur. C’est un élément important, car la sauvegarde des historiques est juridiquement obligatoire quand ils concernent la monétique (loi finance de 2016). Dans cette partie, nous commencerons, dans un premier temps, par détailler le fonctionnement de la structure de données et des tests qui ont été faits dessus. Dans un second temps, nous traiterons l’envoi des historiques sur le serveur de CKsquare.

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 pleinement utiliser l’émulation du stockage. Ils vont donc constituer un exemple intéressant qui pourra être décrit dans la documentation.

Comme mentionné dans le paragraphe précédent, un CDB est une base de donnée circulaire. Un CDB est une structure qui se compose d’un tableau, d’un compteur d’éléments, d’une tête et d’une queue. La tête correspond à la première donnée insérée et la queue à la dernière. Les CDB sont sauvegardés en mémoire sur des eeproms ou des flashs en fonction de la configuration. Il y a une seule interface (fichier d’entête) pour deux implémentations différentes utilisant les deux types de périphériques de stockage et l’on peut passer d’une implémentation à une autre avec la configuration. Il est important de pouvoir tester les deux implémentations, par contre, étant donné que les fonctions ont le même nom, on ne peut pas compiler tous les fichiers en même temps (une interface et deux implémentations). C’est pour cette raison

que l'on génère deux exécutables différents, où chaque exécutable est compilé avec une configuration différente. Comme expliqué dans la Section 3.3, pour passer d'une configuration à une autre, on utilise des constantes préprocesseurs définies à la compilation. Il y aura donc aussi deux tests différents, un pour les flashs et un pour les eeproms.

Traisons à présent un exemple de test sur un CDB dont le code est visible sur le listing 3. Ici, on teste l'insertion d'éléments dans une flash. Pour réaliser ce test, on utilise plusieurs fonctions annexes. La fonction `TESTCDB_IndexToAddrRelative` prend en paramètre un CDB, un indice et une référence sur une adresse. Elle permet de récupérer l'adresse de l'élément du CDB à l'indice donnée dans la flash. Pour ce test, on utilise des historiques de paiement et on utilise la fonction `TESTCDB_RandomBufferGenerate` pour générer un élément aléatoire à insérer dans le CDB. Dans un premier temps, on insère un élément dans la base et on regarde si les données ont bien été écrites dans la flash. Ensuite, on vérifie que les données du CDB sont aussi écrites au début de la mémoire. En effet, lorsque l'on redémarre la carte, on a besoin de récupérer l'état de la base de données (le nombre d'éléments stockés,...). Pour pouvoir faire cela, la structure qui permet de gérer le CDB est écrite en début de mémoire (`CDB->Control`). Une fois que l'on a vérifié qu'une insertion dans le CDB fonctionnait, on teste s'il est possible de remplir la base en ajoutant le maximum d'éléments à l'aide d'une boucle. À noter qu'à chaque fois, on vérifie que l'élément (toujours généré aléatoirement) est bien écrit dans la mémoire. À la fin, on teste que le CDB est bien plein.

```
Test(CDB_Test, TESTCDB_Add, .init = TESTCDB_Setup, .fini = TESTCDB_Teardown)
{
    uchar Buff[sizeof(TITEM_PAYMENT)];
    ulong BeginingAddr = ((TCDBONFLASH_CONTROL * )CDB->StorageData)->NextAddr + 1;
    TFLASH_ADDR Addr;
    int Cpts;

    TESTCDB_IndexToAddrRelative(CDB,0,&Addr);
    TESTCDB_RandomBufferGenerate(Buff, sizeof(TITEM_PAYMENT));
    cr_assert(true == CDB_Add(CDB, Buff));
    // le cdb a bien été écrit dans la flash
    cr_assert(eq(u8[sizeof(TITEM_PAYMENT)], TESTMEM_FLASHM[0] + Addr, Buff));
    // on vérifie que le control est bien écrit au début
    CDB->Control.CounterChange--;
    cr_assert(eq(u8[sizeof(CDB->Control)],
                TESTMEM_FLASHM[0] + BeginingAddr,
                (uchar*) &CDB->Control));
    CDB->Control.CounterChange++;

    /* remplissage de la base */
    for (Cpts = 1; Cpts < CDB->RecordMax; ++Cpts) {
        TESTCDB_RandomBufferGenerate(Buff, sizeof(TITEM_PAYMENT));
        cr_assert(true == CDB_Add(CDB, Buff));
        TESTCDB_IndexToAddrRelative(CDB, Cpts,&Addr);
        cr_assert(eq(u8[sizeof(TITEM_PAYMENT)], TESTMEM_FLASHM[0] + Addr, Buff));
    }
    cr_assert(true == CDB_IsFull(CDB));
}
```

Listing 3 – Test d'insertion dans un CDB.

Ce test permet de valider l'insertion d'éléments dans un CDB et il y a d'autres tests qui permettent de valider d'autres fonctionnalités ces bases de données comme la suppression par exemple. Ici, on peut voir que la simulation des périphériques de stockage fonctionne bien et que cette dernière est assez simple

à utiliser dans les tests. On voit bien que l'on peut aisément vérifier si la mémoire a été modifiée en utilisant les outils du framework. Ce sont des résultats positifs qui montrent la viabilité de l'outil de test.

Maintenant que nous avons abordé le fonctionnement des CDBs ainsi que les tests qui sont associés à cette structure de données, nous allons nous intéresser au test de la sauvegarde des historiques sur le serveur.

7.2 Sauvegarde des historiques

Dans la section précédente, nous avons traité l'utilité et le fonctionnement des CDB, étudions le problème de l'envoi des historiques sur le serveur. À noter que c'est un problème concernant l'envoi des historiques de paiement sur le *CKWash* (serveur de CKsquare) qui a donné aux développeurs l'idée de ce stage.

Pour envoyer les historiques sur le serveur, le **ControlManager** va régulièrement faire appel à une fonction **Control** qui va envoyer tous les nouveaux historiques sur le *CKWash* et les supprimer des CDB. Cette fonction se trouve dans le fichier **CksproHisSend.c**. Pour transmettre les historiques, on utilise un protocole créé par la société qui est le protocole **CKspro**. Ici, seule une version haut niveau de la simulation a été mise en place, car le code qui permet de gérer la transmission des données utilise directement des éléments bas niveau comme le TCPIP. Ces éléments étant relativement complexes et assez peu utilisés dans le code, ils n'ont pas été traités durant le stage, car cela aurait pris trop de temps.

Pour pouvoir tester l'envoi des commandes, une version modifiée du fichier chargé de la gestion du protocole CKspro a été créée. Comme pour le Cctalk et le Mdb, la fonction **Control** du fichier n'est pas utilisée et la fonction **CmdSnd** a été modifiée. Cette dernière récupère les commandes envoyées et les sauvegarde dans une variable globale accessible depuis les tests. Pour tester si les commandes sont bien envoyées, on place des éléments dans un CDB et on appelle la fonction **Control** du fichier **CksproHisSend.c** qui va envoyer tous les éléments enregistrés dans la base. On peut ensuite tester si les commandes envoyées correspondent aux données qui avaient été enregistrées en vérifiant que les identifiants stockés dans les trames sont les mêmes que ceux des éléments dans CDB. À noter qu'ici, un test assez réaliste a été écrit pour vérifier que l'outil permet bien de créer un test capable de détecter le problème qui a poussé la société à créer ce sujet de stage. Le problème était survenu plusieurs fois à cause de mauvaises manipulations de git, ce qui aurait pu être détecté facilement avec une pipeline. Il venait d'une erreur de configuration qui faisait que dans la fonction **Control** de l'envoi des historiques, une fonction était appelée à la place d'une autre. Ce problème était assez difficile à détecter avec de simples tests puisqu'il apparaissait uniquement lorsque le CDB était rempli plusieurs fois (problème d'index dans le CDB). Pour détecter ce problème, on remplit le CDB, on envoie tous les historiques et on refait ces opérations en vérifiant à chaque fois que tous les éléments sont envoyés. Le test fonctionne bien et son code est disponible à l'annexe B.

Les tests sur l'envoi des historiques sont relativement complexes dans le sens où ils doivent utiliser plusieurs des éléments mis en place par l'outil de test. En effet, ici, le test doit utiliser la version modifiée du fichier **CKspro.c** et les modifications apportées à ce fichier suivent les mêmes principes que pour le Cctalk et le MDB. En plus de la modification de fichier pour isoler les éléments du code testé, les tests sur l'envoi d'historiques utilisent les CDB et donc la simulation du stockage. Le fait d'avoir un résultat positif sur un test qui utilise une grande partie du code et autant des éléments mis en place par l'outil est très positif. Cela permet donc de valider en grande partie les techniques et méthodes employées durant le stage. Enfin, un autre point intéressant concerne la difficulté d'écriture des tests. En effet, les tests ne sont pas triviaux à écrire, cependant, leur complexité vient plus de celle du code testé que de l'outil.

L'envoi des historiques était un élément important à tester et c'est le dernier élément qui a été traité avant de mettre en place la pipeline. Dans la section suivante, nous traiterons la configuration de la pipeline pour que les tests soient exécutés de façon automatique à chaque nouvel envoi de code sur Gitlab.

8 Mise en place de la pipeline

Dans cette section, nous allons voir comment a été mise en place la pipeline Gitlab.

La configuration de la pipeline contient deux *jobs*, un *job* de compilation et un *job* de test. Il y a une contrainte de précédence entre la compilation et les tests.

Pour la compilation, on commence par installer le nécessaire pour compiler avec le gestionnaire de paquets de la pipeline (*Aptitude*). Cela comprend les outils comme `gcc` et `cmake` mais aussi le framework de test. Ici, on utilise l'image docker par défaut de Gitlab (`ruby:3.1`) car il n'y a pas beaucoup de paquets à installer, mais il serait possible d'utiliser une image plus complète ou d'en créer une. À noter que cela se fait dans une section à part (`before_script`), ce qui permet de ne pas copier une partie de la configuration pour tous les *jobs* et permet aussi de spécifier à Gitlab de garder les éléments en cache pour ne pas tout télécharger à chaque fois. Le projet `dev_pic` est dépendant du projet `commun_global` qui comme expliqué en début de rapport correspond au code partagé entre tous les projets. Pour accéder à ce projet depuis la pipeline, il y a deux solutions, la première consiste à utiliser un sous module git. Le défaut de cette méthode est qu'elle nécessite la gestion d'un sous module dans les communs. De plus, cette solution n'est pas très logique et complexifierait énormément la gestion du projet, car `dev_pic` est déjà un sous module des projets de l'entreprise. La seconde méthode est beaucoup plus simple puisqu'elle consiste juste en le clonage du projet `commun_global` dans la pipeline. Pour pouvoir cloner un projet privé, on utilise un *job token* accessible depuis la configuration à l'aide d'une variable. Une fois que l'on a téléchargé toutes les dépendances du projet, on met en place CMake et l'on compile les tests. Après la compilation, les exécutables se trouvent dans le répertoire `buil/bin`, pour pouvoir y accéder depuis l'autre *job*, on déclare le répertoire `build` comme artefact ce qui permettra de le réutiliser. On peut voir la configuration sur le listing 4.

```
before_script:
- apt-get update
- apt install -y libcriterion-dev cmake gcc

build-job:      # This job runs in the build stage, which runs first.
stage: build
script:
- cd commun/Test/
- git clone https://gitlab-ci-token:${CI_JOB_TOKEN}@git.cksquare.fr/cklibs/commun_global.git
- mkdir build
- cmake -S . -B build
- cd build
- make
artifacts:
  paths:
    - commun/Test/build
```

Listing 4 – `.gitlab-ci.yml` : build job.

Dans le second *job*, on va lancer les tests. On se rend dans le répertoire de build (qui était sauvegardé dans un artefact) et on exécute les tests en utilisant la commande `ctest`. `CTest` est un exécutable installé

avec CMake, il permet de gérer les tests de façon automatique. On peut voir sur le listing 5 que CTest est utilisé avec plusieurs paramètres. Le premier permet de faire afficher les erreurs générées par le framework de test, car avec l’affichage par défaut, on ne peut pas savoir quel test a échoué et pourquoi. Ensuite, on utilise l’option `-T` pour spécifier deux actions à réaliser. Tout d’abord, on souhaite que CTest exécute les tests puis on lui demande de calculer le pourcentage de couverture des tests. Ceci se fait à l’aide d’un outil installé par défaut avec gcc : `gcov`. Cet outil permet de savoir le pourcentage de lignes de codes compilées qui sont exécutées par les tests. Cela permet d’avoir une idée de la qualité des tests car il est intéressant de maximiser la couverture des tests pour être sûr que tout le code est testé.

```
launch-test-job:  # This job runs in the test stage.
  stage: test      # It only starts when the job in the build stage completes successfully.
  script:
    - cd commun/Test/build
    - ctest --output-on-failure -T Test -T Coverage
  needs:
    - job: build-job
      artifacts: true
  coverage: '/Percentage Coverage: \d+\.\d+/'
```

Listing 5 – `.gitlab-ci.yml` : test job.

La création de cette pipeline a clos la première partie du stage qui concernait la création d’un outil de test sur la branche principale du code C. Le travail suivant a consisté en l’adaptation de l’outil sur la branche événementiel qui est l’autre branche du projet `dev_pic` que nous avons détaillé dans la Section 2.2.2. Dans la partie suivante, nous allons nous intéresser aux modifications apportées à l’outil pour que ce dernier fonctionne sur la seconde branche.

9 Les tests sur la branche de l’événementiel

Dans cette section, nous allons traiter l’intégration de l’outil de test dans la seconde branche. À noter que cette section sera courte étant donné le fait qu’il n’y a pas eu de nouveaux éléments créés pour l’événementiel et qu’il n’y a eu que très peu de modifications apportées au code de l’outil.

Compilation

Avant de commencer à intégrer l’outil de test, il a fallu mettre en place une première configuration de CMake capable de compiler une partie du code. L’objectif était de comprendre le fonctionnement du code et de compiler un maximum de fichiers pour intégrer l’outil plus facilement. Cette tâche a pris beaucoup de temps, car tous les fichiers présents ne pouvaient pas être compilés, or cela n’était mentionné nulle part. Cependant, le fait de faire cela en amont a grandement facilité le reste du travail.

Lorsque les premiers fichiers de tests ont été ajoutés, un problème très intéressant a été rencontré. Comme expliqué dans la Section 2.2.2, pour pouvoir déclencher un appel de fonction à l’émission d’un signal, il faut utiliser un `Connect` et le lier à la fonction. Pour ce faire, on utilise la fonction `CONNECT_Define` qui prend en paramètre, un `Connect` (signal), un pointeur vers la fonction ciblée ainsi que d’autres informations. La signature de la fonction est visible sur le listing 6.

Pour récupérer certains des arguments de cette fonction, cela nécessite l’utilisation d’autres fonctions secondaires. Le listing 7 comment était utilisée cette fonction au départ. On peut voir ici qu’il y a deux appels de fonctions dans les arguments, un appel à `CONNECT_Create` et un appel à `CONNECT_Event`. Maintenant, il faut noter que la fonction `CONNECT_Event` prend en paramètre `Signal`. Étant donné

```

void CONNECT_Define(TCONNECT * Connect,
    uchar * Sender,
    uchar * SenderData,
    void (*ReceiverControl)(uchar * Sender,
        uchar * SenderData,
        uchar * ReceiverData,
        uchar * ReceiverDataItem),
    uchar * ReceiverData,
    uchar * ReceiverDataItem, uchar Type);

```

Listing 6 – Signature de la fonction `CONNECT_Define`.

que `Signal` est créé avec la fonction `CONNECT_Create`, il faut que cette dernière soit appelée avant `CONNECT_Event`, or, pour des raisons d’optimisation, le standard C ne spécifie pas dans quel ordre doivent être évaluées les arguments des fonctions. Le compilateur utilisé par la société évalue les arguments dans l’ordre et tout se passe bien. Par contre, ce n’est pas le cas de gcc, c’est pour cela que cette ligne engendrait une erreur de segmentation à l’exécution, car `Signal` était utilisé avant d’être créé.

```

CONNECT_Define(CONNECT_Create(&Signal),
    nullptr,
    CONNECT_Event(Signal, DISPLAYSCCTALK_EV_RCV_INIT),
    SM_Control,
    (uchar*)&Sm,
    (uchar*)&This,
    CONNECT_QUEUE);

```

Listing 7 – Première utilisation de la fonction `CONNECT_Define`.

Pour résoudre le problème, il a fallu faire intervenir une variable temporaire pour créer le signal avant de le connecter à une fonction. L’erreur a été très difficile à trouver, même avec un débogueur. Cela montre bien qu’il est très important de connaître un minimum le standard des langages que l’on utilise. Une autre erreur similaire est survenu lors de la création des tests sur les historiques de paiement. Ici, c’était un `assert` qui stoppait le programme. La condition testait la taille d’une structure de données avec un `sizeof`, le problème était que cette structure de données utilisait des `long`. Là aussi une meilleure connaissance du standard aurait permis de savoir que la taille des `long` est variable entre les machines. Comme on peut le voir sur [11] et [12], le standard spécifie les règles suivantes sur la taille des entiers :

- `sizeof(char) ≤ sizeof(short) ≤ sizeof(int) ≤ sizeof(long) ≤ sizeof(long long)`
- `sizeof(char) ≥ 8`
- `sizeof(short) ≥ 16`
- `sizeof(int) ≥ 16`
- `sizeof(long) ≥ 32`
- `sizeof(long long) ≥ 64`

Pour résoudre ce second problème, la structure a été modifiée pour utiliser des entiers à taille fixe comme `int32_t`. Ces problèmes sont très intéressants et montrent bien que pour écrire du code robuste il n’est pas suffisant de simplement connaître la syntaxe du langage. Des connaissances sur les standards et le fonctionnement des compilateurs sont aussi très importants.

Au final, le code a été modifié et la compilation d’une grande partie des fichiers a été possible. Dans la section suivante, nous traiterons le stockage sur la seconde branche.

Le stockage

Le premier élément qui a été ajouté sur la nouvelle branche est le stockage. Étant donné que ce dernier est placé très bas niveau dans le code, il n'y a pas eu de modifications dessus. En effet, la partie événementiel change le fonctionnement du code haut niveau, mais les fichiers du compilateur ne sont pas modifiés. Le stockage étant une partie assez importante de l'outil de test, le fait que tout fonctionne sans modifications a permis de gagner beaucoup de temps.

À noter que le fait que l'implémentation de l'I²C et du SPI ne soient pas en événementiel peut changer. En effet, d'autres bibliothèques bas niveaux ont été adaptées avec le nouveau système. Si cela doit être le cas pour le stockage, il faudra aussi modifier la simulation

Le stockage n'a donc pas été modifié et n'a donc pas pris beaucoup de temps à intégrer sur la nouvelle branche. Dans la section suivante, nous verrons comment ont été ajoutés des composants Cctalk et MDB.

Cctalk et MDB

La partie qui a pris le plus de temps à adapter a été celle sur les protocoles monétiques. Cette partie a été complexe intégrer, car le code a beaucoup changé entre les branches que ça soit pour les versions haut et bas niveau. Ici, les fonctions `Run` et `Control` ont été changées pour pouvoir fonctionner avec le **Sate Manager**. Les tests qui avaient été écrits ont aussi dû être changés, car certaines fonctionnalités ne fonctionnaient plus de la même façon.

Les modifications apportées au niveau des composants simulés concernent la fonction `Run` qui utilise maintenant les fonctions liées au `Connects` plutôt que d'appeler directement les fonctions `Control`. À noter qu'ici, que ce soit pour la version haut niveau ou bas niveau, la fonction `Run` doit être utilisée dans les tests pour éviter d'appeler des fonctions à la main. Au niveau des tests, on ne peut plus utiliser les fonctions comme on le faisait sur la branche principale, comme dans la simulation, il faut déclencher les `Connects`. Un gros avantage de notre simulation est le fait que l'on peut entièrement contrôler l'horloge, on peut donc facilement déclencher les événements de `timeout` car la plupart des fonctions sont appelée au bout d'une certaine période de temps. La méthode la plus simple est d'utiliser la fonction `TESTTIMER_Wait` pour simuler une attente et ensuite d'appeler la fonction `TIMER_Task`.

À noter qu'ici, il y a eu beaucoup moins d'éléments simulés que sur la branche principale. En effet, cette branche est secondaire et elle n'est pas nécessairement à jour, car tous les composants ne sont pas utilisés. De ce fait, la plupart des composants Cctalk et MDB qui étaient présents sur l'autre branche ne l'étaient pas ici.

Dans la section suivante, nous allons traiter l'envoi des historiques sur le CKWash avant de conclure la partie sur la branche secondaire.

Les historiques

Comme dit dans la Section 7.1, les historiques sont stockés dans la mémoire de la carte. Étant donné que le stockage n'a pas nécessité de modifications sur cette branche, toute la partie concernant les CDBs était presque fonctionnelle. Ici, des modifications ont été apportées au niveau du code de l'entreprise ainsi qu'au niveau des tests. En effet, la branche n'étant pas à jours, des éléments qui étaient utilisés sur la branche principale n'existaient pas, ils ont donc été supprimés. Dans le code de l'entreprise, il manquait aussi des conditions préprocesseurs qui étaient utilisées sur l'autre branche pour compiler, ces dernières ont donc été rajoutées.

L'intégration de l'outil de test sur la branche événementiel a marqué la fin de la partie C du stage. Le travail a avancé plus vite que prévu et cela a permis d'aborder la partie C++. Dans la partie suivante,

nous allons voir l'implémentation de l'outil de test en C++ ainsi que la mise en place de la pipeline sur le code commun Qt.

10 Le projet de test sur la partie Qt

Dans cette section, nous allons traiter l'implication de l'outil de test en C++. L'objectif est de pouvoir intégrer l'outil dans le code commun Qt.

10.1 Nouveau framework

Au début du projet, le même framework devait être utilisé pour la partie C et la partie C++, cependant, des tests avec un autre framework avaient déjà été mis en place sur un projet par un autre stagiaire. Le nouveau framework est Qt Test (bibliothèque `QTest`) et ce dernier a été pensé spécialement pour Qt.

Qt Test est un framework très intéressant lorsque l'on travaille avec Qt car il est compatible avec toutes les fonctionnalités de la bibliothèque. Par exemple, comme nous l'avons déjà mentionné, Qt fonctionne avec un système de signaux, qui, à leur émission permettent de déclencher des appels de fonctions. Le nouveau framework propose une classe permettant de détecter les signaux émis, ce qui permet de tester les signaux. En plus de cela, le framework est aussi pensé pour fonctionner avec du C++, par exemple, les tests sont écrits avec des classes. Cela va permettre d'avoir du code plus homogène dans la partie Qt car le code utilise beaucoup les classes C++.

Par contre, Qt Test possède tout de même des défauts. Le premier est spécifique à Qt et il vient du fait que les classes de tests sont des `QObject`, qui utilise des fonctionnalités telles que les signaux et les slots. Pour pouvoir mettre en place ces fonctionnalités, Qt utilise le MOC (Meta Object Compiler) qui génère du code. Les fichiers générés automatiquement pour les tests ne sont pas gérés par CMake, il faut donc inclure les fichiers `moc` dans tous les fichiers de tests. De plus, le framework Qt Test reste relativement simple et il ne propose pas beaucoup de fonctionnalités pour organiser les tests. Par exemple, le framework propose une macro qui permet la génération automatique d'une fonction `main`. Le problème est que comme il n'y a pas de système de suites de tests, on ne peut pas utiliser cette macro, car elle oblige la compilation d'un exécutable par test ce qui peut être pénible à gérer étant donné que le projet commun est très gros et qu'il y a beaucoup de fichiers à tester. Pour palier à ce problème, un système de suite de test à dû être créé, ce système sera décrit dans la sous section suivante.

Un autre gros problème est le fait que le framework ne propose pas de moyen de contrôler les horloges. Cela est d'autant plus grave du fait que la plupart des machines à états sont gérées avec des minuteurs. Qt Test fournit des fonctions permettant de marquer des temps d'attente, cependant, là où la simulation des horloges en C permettait de simuler une attente, ici, le framework n'en est pas capable ce qui oblige à vraiment mettre en pause le programme. Pour l'instant, la seule solution fiable trouvée nécessite la réécriture complète des classes des horloges de Qt. Cette solution n'a pas été mise en place car cela était trop complexe¹. Au final, le seul moyen que l'on a dans ce genre de cas est de faire de vraies pauses dans le programme, ce qui fait que l'exécution des tests est très lente. Heureusement, le framework met à disposition une fonction `qWaitFor` qui met fin à la pause lorsqu'un prédicat est vrai, ce qui permet d'optimiser les temps d'attente.

1. La durée du stage aurait effectivement permis de mettre en place un tel système, cependant, il ne faut pas oublier que le code doit être facilement maintenable par les développeurs de l'entreprise ce qui n'aurait pas été le cas ici.

Système de suites de tests

Comme nous l'avons vu dans la Section 10.1, étant donné la simplicité du framework Qt Test, un système de suite de test a dû être implémenté. Ce système permet d'enregistrer et de lancer plusieurs classes de test. Il vient avec une macro qui permet de générer la fonction `main` pour la suite. Cette macro devait s'utiliser comme celle fournie par le framework, sauf que cette dernière devait accepter plusieurs classes au lieu d'une. Pour ce faire, on utilise une macro variadique qui accepte une infinité d'arguments. Dans la macro, on peut utiliser `VA_ARGS` pour accéder aux arguments.

Le premier défi était que si on souhaitait utiliser cette macro comme celle du framework, cette dernière ne devait prendre en arguments que les noms des classes et non des instances de ces classes. Il fallait donc un moyen d'instancier les classes dans la macro. Le second défi était le fait qu'il n'y a aucun moyen simple de séparer les arguments dans `VA_ARGS`. Pour réussir à créer cette macro, il a fallu utiliser un *template variadique*.

Sur le Listing 8, on peut voir le code de la macro permettant de générer la fonction principale pour une suite. Cette dernière crée une suite nommée `LocalSuite` et fait appel à la fonction `AddAllTest` pour ajouter tous les tests passé en paramètre via `VA_ARGS` à la suite. Ensuite, on lance tous les tests avec la méthode `Run`.

```
#define TESTSUITE_MAIN(...) \
    int main(int argc, char *argv[]) { \
        QCoreApplication app(argc, argv); \
        app.setAttribute(Qt::AA_Use96Dpi, true); \
        TEST_SUITE LocalSuite(argc, argv); \
        AddAllTest<__VA_ARGS__>(LocalSuite); \
        return LocalSuite.Run(); \
    }
```

Listing 8 – Macro variadique pour générer la fonction main.

La fonction template permettant d'instancier les suites est disponible sur le Listing 9. Ce template utilise `sizeof...` pour savoir s'il reste des éléments à instancier (si TS est vide ou non). À noter qu'ici, il est obligatoire de fournir une valeur par défaut pour le type T, étant donné que tous les tests hérite de la classe `QObject`, c'est elle qui a été choisie.

```
template<class T=QObject, class... Ts>
void AddAllTest(TEST_SUITE& Suite)
{
    Suite.TestAdd(new T());
    if (sizeof...(Ts) > 0) {
        AddAllTest<Ts...>(Suite);
    }
}
```

Listing 9 – Template permettant l'instanciation des tests.

Cet élément du code n'est pas le plus important, mais son fonctionnement est intéressant. Il présente deux éléments assez peu utilisés dans le code qui on permet de créer une macro simple à utiliser qui se comporte comme celle du framework mais qui permet en plus d'exécuter plusieurs tests en même temps.

Maintenant que nous avons traité la mise en place du nouveau framework de test, nous allons traiter la mise en place de l'outil de test dans le code (simulation et tests simples). Nous suivrons le même ordre que dans les parties précédentes.

10.2 Le stockage

Une partie qui avait pris beaucoup de temps côté C était le stockage. Pour rappel, l'implémentation du stockage avait nécessité la simulation des périphériques de stockage ainsi que des deux interfaces utilisée pour interagir avec ces composants. Pour la partie C++, il n'y a pas eu besoin de simulation car le stockage se fait à l'aide de simples fichiers. En effet, les cartes électroniques utilisées avec Qt sont beaucoup plus haut niveau et intègrent un système d'exploitation (Linux) capable de gérer un système de fichier. Ici, on utilise l'objet `QFile` pour écrire dans des fichiers au format binaire. Dans les tests, il suffit d'aller lire dans les fichiers pour vérifier si les données sont bien stockées.

À noter qu'il peut être intéressant de ne pas utiliser l'objet `QFile` dans les tests mais de plutôt opter pour les outils de la bibliothèque standard. Cela a pour objectif de détecter les mauvaises manipulations des outils de Qt. En effet, comme c'est le développeur du code qui écrit les tests, si ce dernier manipule mal les outils de Qt, il y a de fortes chances pour que ça soit aussi le cas dans les tests. Pour éviter ce problème, on ne réutilise pas les mêmes outils dans le code et dans les tests. De plus, cela pourra permettre la détection de problème avec Qt si jamais il y en a.

Pour la partie Qt, les tests sur le stockage n'ont donc pas nécessiter la mise en place d'une simulation comme pour la partie C. Dans la section suivante, nous verrons que cela n'a pas été le cas pour les protocoles monétique.

10.3 Les protocoles monétiques

Comme pour le C, la partie la plus chronophage a concerné le Cctalk et le MDB. Cette fois-ci, il a fallu mettre en place de la simulation et cette dernière suit le même principe que celle du C sauf qu'ici, on utilise des objets et le polymorphisme pour simplifier l'implémentation.

10.3.1 La conception des classes

Pour concevoir les classes utilisées dans la simulation, la première étape a été de faire un schéma UML pour identifier les caractéristiques communes des classes et créer une arborescence qui permette d'éviter au maximum la copie de code. La première classe créée est `CAEMULATED_DEVICE`, c'est une classe abstraite qui regroupe les caractéristiques de tous les composants simulés (peu importe le protocole). Dans l'état actuel du projet, les composants ont deux points communs. Tout d'abord, ils possèdent tous une adresse unique qui permet de les identifier lors des communications, la classe possède donc un attribut `Addr` et un accesseur en lecture. Ensuite, tous les composants simulés sont utilisés pour répondre aux commandes envoyées par la carte, chacun d'entre eux doit donc implémenter une méthode `ResponseSend` (qui est abstraite ici). Le diagramme de cette classe est visible sur la figure 11.

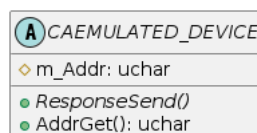


FIGURE 11 – Diagramme de la classe : `CAEMULATED_DEVICE`.

Ensuite, la classe `SIMULATION` a été créée. L'objectif de cette dernière est de gérer tous les composants simulés. Cette classe statique possède un tableau de composants dans lequel on place les composants simulés. Normalement, il est assez peu fréquent d'utiliser plusieurs composants en même temps dans les

tests, cependant, la possibilité a été laissée dans le cas où l'on souhaite faire des tests d'intégration plus complexes. La classe possède aussi une méthode statique `ResponseSend` qui prend en paramètre l'adresse d'un composant et qui fait appel à la méthode `ResponseSend` du composant à l'adresse demandée. Le diagramme de cette classe est visible sur la figure 12.

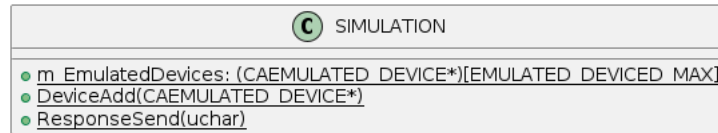


FIGURE 12 – Diagramme de la classe : SIMULATION.

Les autres classes sont spécifiques au protocole utilisé. Le premier protocole qui a été traité était le Cctalk et un travail similaire a été réalisé pour le MDB. Ici, on introduit une nouvelle classe abstraite qui va regrouper les caractéristiques communes à tous les composants Cctalk. Pour l'instant, le seul point commun entre tous ces composants est le fait que l'on peut configurer des réponses dans les tests. En effet, bien que les composants simulés puissent répondre à la plupart des commandes de façon automatique, il est parfois souhaitable de changer certaines réponses dans les tests. Cette classe possède donc toutes les méthodes nécessaires pour changer les réponses dans les tests. Ensuite, il y a plusieurs classes (concrètes cette fois), qui correspondent aux composants. Le diagramme de classe est disponible sur la figure 13.

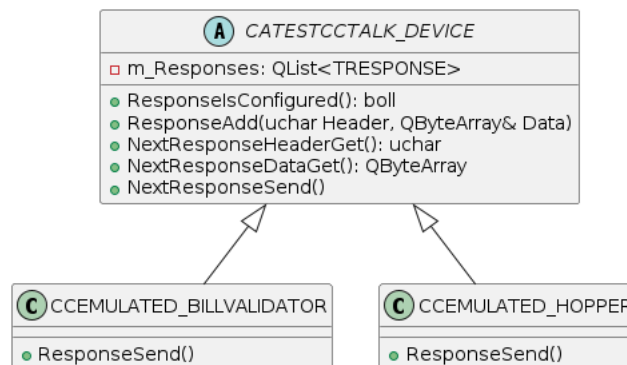


FIGURE 13 – Diagramme de la classe des composants Cctalk.

Enfin, pour mettre en place les tests et la simulation, il fallait un moyen de donner accès aux commandes envoyées par la carte. Les commandes sont représentées par la classe `CCCTALK_COMMAND`. Lorsque le code testé envoie une nouvelle commande, il fait appel à la méthode `CmdSnd` d'une API qui prend en paramètre un pointeur sur la commande à transmettre. Pour pouvoir vérifier que les bonnes commandes sont envoyées, il est obligatoire d'avoir accès à ce pointeur depuis les tests. De plus, comme pour la partie C, la façon la plus simple de répondre pour les composants simulés est de directement modifier l'objet de la commande transmise. Pour partager la commande à toutes les classes, on utilise une classe statique qui agit comme une variable globale. Son diagramme de classe est visible sur la figure 14.

Des classes similaires ont été créées pour le protocole MDB. En plus, le MDB possède une autre classe qui permet de gérer le système de scénarios qui avait été implémenté en C. La figure 15 représente le diagramme de classe complet de la simulation pour les composants Cctalk et MDB.

Dans les sous-sections suivantes, nous traiterons un exemple de composants simulés et de test.



FIGURE 14 – Diagramme de la classe : CCTESTCMDCTALK.

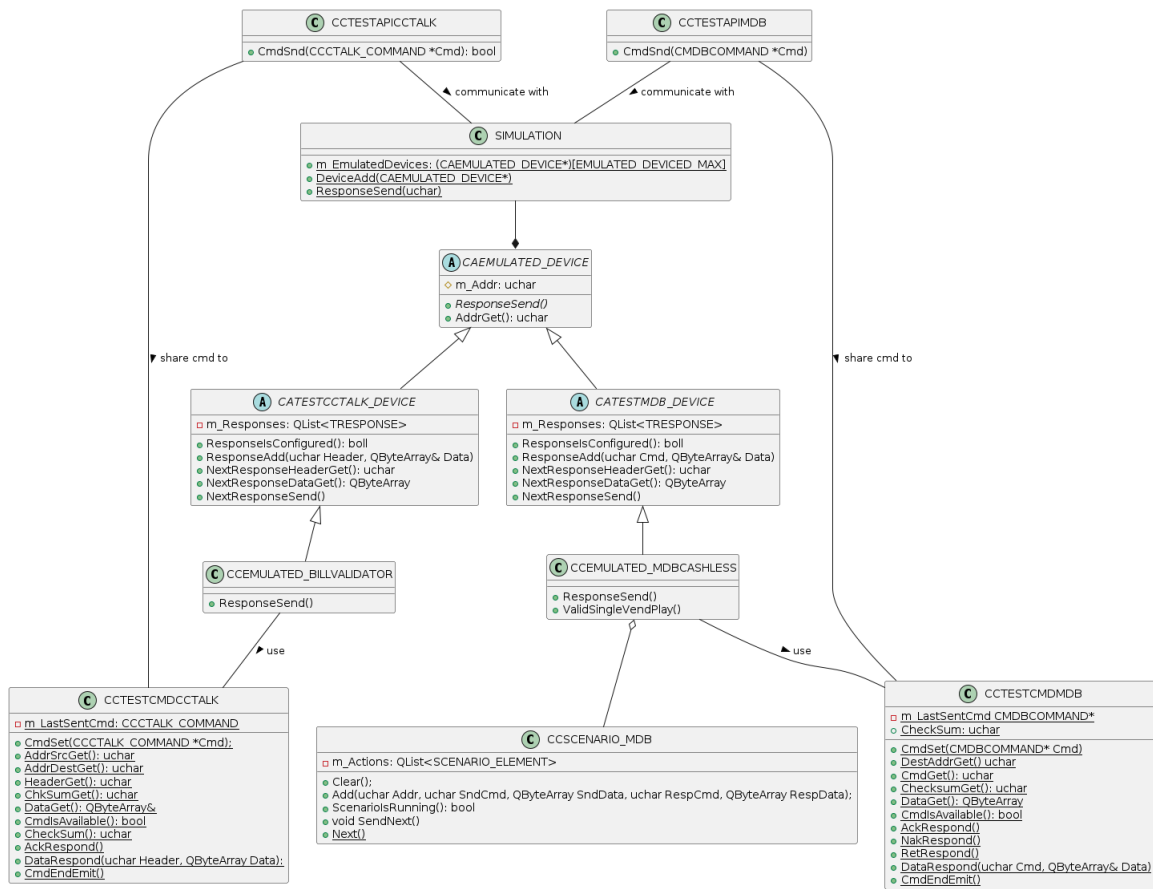


FIGURE 15 – Diagramme de la classe de la simulation.

10.3.2 Exemple de composant simulé

Maintenant que nous avons traité la conception des classes, intéressons nous à la simulation d'un composant. Ici, nous allons étudier la fonction `ResponseSend` d'une trémie.

Le code est visible sur le listing 10. Ici, on voit que cette méthode se compose simplement d'un `switch` qui permet de sélectionner une réponse automatique en fonction du *header* reçue. Les méthodes de la classe `CCTESTCMDCTALK` permettent de modifier l'objet commande pour envoyer la réponse. Par exemple, lorsque le composant reçoit l'entête `CCTALK_HEADER_CATEGORY`, ce dernier répond son nom précédé de la même entête². On peut aussi voir que pour certaines entêtes, on utilise la méthode `NextResponseSend` qui

2. Ce header ainsi que cinq suivant font partie des *core commandes* qui sont demandée à l'initialisation. La plupart des

permet d'envoyer une réponse paramétrée dans les tests (ou un acquittement par défaut). Lorsque l'entête reçue est inconnue, on utilise une exception pour spécifier au développeur des tests que la simulation est incomplète.

```
void CCEMULATED_HOPPER::ResponseSend()
{
    switch (CCTESTCMDCCTALK::HeaderGet()) {
        case CCTALK_HEADER_CATEGORY:
            CCTESTCMDCCTALK::DataRespond(CCTALK_HEADER_CATEGORY, QByteArray("Hopper"));
            break;
        case CCTALK_HEADER_PRODUCT:
            CCTESTCMDCCTALK::DataRespond(CCTALK_HEADER_PRODUCT, QByteArray("1234"));
            break;
        case CCTALK_HEADER_BUILDCODE:
            CCTESTCMDCCTALK::DataRespond(CCTALK_HEADER_BUILDCODE, QByteArray("1234"));
            break;
        case CCTALK_HEADER_SOFTREVISION:
            CCTESTCMDCCTALK::DataRespond(CCTALK_HEADER_SOFTREVISION, QByteArray("1234"));
            break;
        case CCTALK_HEADER_SN:
            CCTESTCMDCCTALK::DataRespond(CCTALK_HEADER_SN, QByteArray("1234"));
            break;
        case CCTALK_HEADER_MANUFACTURER_ID:
            CCTESTCMDCCTALK::DataRespond(CCTALK_HEADER_MANUFACTURER_ID, QByteArray("1234"));
            break;
        case CCTALK_HEADER_HO_PAYOUTSTATUS:
            // bas niveau actif
            CCTESTCMDCCTALK::DataRespond(CCTALK_HEADER_HO_PAYOUTSTATUS, Buff(0b00010000));
            break;
        case CCTALK_HEADER_HO_ENABLE:
            CCTESTCMDCCTALK::AckRespond();
            break;
        case CCTALK_HEADER_CIPHERKEY:
            CCTESTCMDCCTALK::DataRespond(CCTALK_HEADER_CIPHERKEY, QByteArray("CIPHERKEY"));
            break;
        case CCTALK_HEADER_HO_DISPENSE:
            NextResponseSend();
            break;
        case CCTALK_HEADER_HO_STATUS_DISPENSE:
            NextResponseSend();
            break;
        default:
            throw std::logic_error("Error (hopper): unknown header.");
            break;
    }
}
```

Listing 10 – Méthode ResponseSend de la trémie.

Ce code montre bien la simplicité de la simulation, ce qui permet une mise en place facile et rapide de nouveaux composants. Cette simplicité est très importante car elle était requise dans le cahier des charges.

Voyons à présent à quoi ressemblent les tests qui utilisent des composants simulés.

réponses sont arbitraires car elle ne sont jamais utilisées dans le programme

10.3.3 Exemple de test

Ici, nous allons traiter un exemple de test sur la trémie. Ce test très simple permet de vérifier le fonctionnement de la machine à états chargée de la gestion des paiements.

La première chose à faire est d'initialiser le test en créant les objets nécessaires. Cela se fait dans la fonction `init` visible sur le listing 11. Cette fonction est automatiquement appelée avant chaque test.

```
void TEST_HOPPER::init()
{
    // on met l'echo à false pour ce test car on utilise la version modifiée du
    // fichier cctalk_api => On ne passe jamais dans la fonction Control
    m_CctalkApi = new CCTESTAPICCTALK(1, false, "CCTALK_API_SERIAL", CLOGSYSTEM::TYPE_NONE);
    m_Hopper = new CCTALK_HOPPER(m_CctalkApi, 0, 4, "CCTALK_HOPPER", CLOGSYSTEM::TYPE_NONE);
    m_CctalkApi->Connect();
    m_EmulHopper = new CCEMULATED_HOPPER(4); // ajout à la simulation
    SIMULATION::DeviceAdd(m_EmulHopper);
}
```

Listing 11 – Initialisation du test sur la trémie.

Le code du test est disponible sur le listing 12. Ici, on commence par démarrer la machine à états de la trémie avec la méthode `Start` puis on fait une demande de paiement. On sait qu'ici, on doit recevoir une commande `Cctalk` après environ cinq secondes, on utilise donc la fonction `waitFor` pour attendre jusqu'à ce que la commande soit reçue. Le temps d'attente maximum est de huit secondes par sécurité. Lorsqu'une commande est reçue, on vérifie que son contenu est correcte avant de passer à la suite. À chaque fois, on utilise la méthode `CmdEndEmit` qui émet un événement Qt qui débloque la machine à états. Plus loin, on voit un exemple de configuration de réponse avec la méthode `ResponseAdd`. Enfin, on peut aussi voir l'utilisation d'un `QSignalSpy` qui permet de vérifier si un événement est émit. À la fin, le code testé est sensé émettre l'événement `PayoutEnded`, on vérifie donc que ce dernier est bien émit une fois.

La plupart des tests sur les `Cctalk` et `MDB` ont cette forme, ce qui permet de facilement créer de nouveaux tests. On peut voir que la mise en place du test reste relativement simple et que encore une fois, la complexité des tests vient plus de celle du code que de celle de l'outil. La simulation fonctionne bien et elle est simple à utiliser dans les tests.

Cet exemple conclut la section sur les protocoles monétique. Dans la partie suivante nous allons voir la mise en place des classes utilisées pour isoler le code testé du reste du programme.

10.4 Les classes de test

Pour pouvoir tester certains éléments, il a fallu mettre en place de nouvelles classes. Ces nouvelles classes peuvent prendre deux formes. Tout d'abord, elles peuvent remplacer des classes existantes du projet de façon similaire aux fausses bibliothèques du C. Ensuite, elles peuvent prendre la forme d'objet mock, qui héritent des classes du code de l'entreprise et qui donne accès à certains éléments protégés ou changent l'implémentation de certaines méthodes virtuelles.

La première classe de test qui a été mise en place a remplacé la classe `CKSPRO`. Ici, aucun héritage n'était possible, la classe a donc dû être refaite. À noter qu'ici, le fichier d'entête de la classe d'origine est conservé car l'objectif est que la nouvelle classe remplace totalement l'ancienne. L'intérêt de cette classe était de permettre la vérification des trames envoyées sur le `CKwash`. Les fonctions inutiles ont été laissées vides (pour que le code compile) et, comme en C, la fonction `CmdSnd` est modifiée pour permettre


```

void TEST_HOPPER::TEST_Payout()
{
    QByteArray DispenseStatus;
    QSignalSpy Spy(m_Hopper, SIGNAL(PayoutEnded()));

    m_Hopper->Start(); // on démarre la machine à état

    // on passe dans toute la machine à état de PayoutSwitchControl
    m_Hopper->PayoutRequest(10);

    (void) QTest::waitFor([&]() { return CCTESTCMDCTALK::CmdIsAvailable(); }, 8000);
    QVERIFY(CCTESTCMDCTALK::HeaderGet() == CCTALK_HEADER_HO_ENABLE);
    QVERIFY((uchar) CCTESTCMDCTALK::DataGet().at(0) == 165);
    CCTESTCMDCTALK::CmdEndEmit();

    (void) QTest::waitFor([&]() { return CCTESTCMDCTALK::CmdIsAvailable(); }, 8000);
    QVERIFY(CCTESTCMDCTALK::HeaderGet() == CCTALK_HEADER_CIPHERKEY);
    CCTESTCMDCTALK::CmdEndEmit();

    // on ne répond pas de valeur donc il n'y aura pas d'évènement enregistré
    // (payout.Event = 0)
    (void) QTest::waitFor([&]() { return CCTESTCMDCTALK::CmdIsAvailable(); }, 8000);
    QVERIFY(CCTESTCMDCTALK::HeaderGet() == CCTALK_HEADER_HO_DISPENSE);
    CCTESTCMDCTALK::CmdEndEmit();

    DispenseStatus.push_back((char) 0x00);
    DispenseStatus.push_back((char) 0x00);
    DispenseStatus.push_back((char) 0x00);
    DispenseStatus.push_back((char) 0x00);
    m_EmulHopper->ResponseAdd(CCTALK_HEADER_HO_DISPENSE, DispenseStatus);
    (void) QTest::waitFor([&]() { return CCTESTCMDCTALK::CmdIsAvailable(); }, 8000);
    QVERIFY(CCTESTCMDCTALK::HeaderGet() == CCTALK_HEADER_HO_STATUS_DISPENSE);
    CCTESTCMDCTALK::CmdEndEmit();

    (void) QTest::waitFor([&]() { return Spy.count() > 0; }, 8000);
    QCOMPARE(Spy.count(), 1); // on vérifie qu'un signal a bien été émit
}

```

Listing 12 – Test sur la trémie.

la sauvegarde des trames.

Pour le Cctalk et le MDB, il a été possible d'utiliser l'héritage et de créer une nouvelle classe. En effet, pour ces deux protocoles, il peut y avoir plusieurs API qui hérites de classes abstraites. Des API de test ont donc logiquement été créées en changeant encore une fois l'implémentation de la méthode `CmdSnd`. Les méthodes des classes abstraites sont aussi testées à l'aide d'autres classes qui donnent accès aux membres protégées dans les tests. Cela permet de vérifier le bon fonctionnements des machines à états responsable de la transmission des commandes comme le faisait la version bas niveau de la partie C.

L'objectif de ces classes de test est de simplifier la mise en place des tests, soit en contournant les contraintes de visibilité de certains attribut, soit en changeant l'implémentation de certaines méthodes pour isoler les éléments du code testé. C'est une méthode fiable est très simple à mettre en place qui sera facilement imitable lors de la création de tests par les employés de la société.

À présent que nous avons vu toutes les méthodes employées pour la mise en place des tests au niveau du C++, traitons la configuration de la pipeline qui a été la dernière tâche à accomplir pour ce stage.

10.5 La mise en place de la pipeline

La configuration de la pipeline pour les communs Qt suis le même principe que celle du C. On a deux jobs, le premier permet de compiler les tests et le second les exécute. Les tests sont toujours compilés avec CMake (qui utilise g++ au lieu de gcc) et exécutés avec CTest.

Bien que les deux configurations soient similaires, il y a tout de même des différences. Tout d'abord, ici, on doit compiler du code fonctionnant avec la bibliothèque Qt, cela nécessite donc de l'installer. Le problème est que Qt est une bibliothèque assez lourde, comportant un grand nombre de paquets. Le fait de devoir télécharger toutes les dépendances au début de chaque job comme on le faisait pour le C prend beaucoup plus de temps et consomme aussi beaucoup plus de bande passante. Pour économiser les ressources, il est préférable d'utiliser une image docker déjà configurée et de lancer la pipeline dedans. Ce type d'images existe et certaines sont disponibles sur docker hub, mais elles ne sont généralement pas complètes ou pas à jours. La solution déjà employée sur une autre pipeline Qt était un projet Github `darkmattercoder/qt-build`. Le problème est que ce dépôt n'est plus maintenu et il n'est pas souhaitable d'utiliser une solution open-source qui n'est plus mise à jour. Au final, il a été décidé de créer un nouveau projet se comportant d'une pipeline ayant pour rôle de compiler des images docker et de les envoyer sur le registre de Gitlab. Cette pipeline va créer une image docker avec une installation complète de Qt5 qui sera utilisée dans la pipeline du code commun Qt. Ce projet est très intéressant car il pourra permettre à l'entreprise de créer automatiquement d'autres images docker pour d'autres projets.

Une autre différence est qu'ici, il n'y a plus le calcul de la couverture des tests. La raison à cela est le découpage des étapes dans la pipeline. En effet, la pipeline commence par compiler le projet puis elle sauvegarde les fichiers nécessaires aux tests dans un artefact qui est réutilisé dans les étapes suivantes. Le problème vient du fait que pour calculer la couverture des tests, il faut sauvegarder tout le code généré par gcc à la compilation. Pour pouvoir stocker toutes ces données, il aurait fallu augmenter la taille des artefacts, cependant cela rend leur gestion plus complexe. En effet, il faut veiller à ne pas accumuler trop d'artefacts pour ne pas surcharger le stockage du serveur, mais il faut les conserver suffisamment longtemps pour que la pipeline s'exécute. Sachant que la société commence à avoir des problèmes de place au niveau du stockage serveur et que les informations de couverture des tests ne seront certainement pas utilisées, cette fonctionnalité a été enlevée. Il faut rappeler que ce n'était pas un élément demandé dans les spécifications de l'outil à la base et que cette fonctionnalité avait été ajouté côté C, car le projet avançait vite.

Enfin, un nouvel élément de test a été ajouté à la pipeline. En effet, contrairement à ce qui est fait en C, le code Qt utilise énormément l'allocation dynamique. Lors de la mise en place de l'outil de test, de nombreuses erreurs valgrind ont été trouvées, il a donc était jugé intéressant d'utiliser l'option **memcheck** que CTest dans la pipeline. Cette dernière possède donc maintenant trois étapes, une étape de compilation, une étape d'exécution des tests et enfin une étape de validation valgrind. Cette dernière étape ne vérifie pas uniquement les fuites mémoires, car valgrind permet aussi de détecter les usages de variables non initialisées. Cela est très pratique en C++ étant donné la complexité de l'initialisation des classes, surtout lorsqu'il y a beaucoup de variables membres qui sont souvent oubliées dans les listes d'initialisation (et qui sont donc initialisées par défaut et non à zéro). Par contre, le fait d'utiliser Qt a nécessité la mise en place de fichier de suppression pour supprimer certaines erreurs. En effet, valgrind détecte des fuites de mémoires dans la bibliothèque. Ces dernières sont obligatoires, car elles sont dues au fait que le système d'exploitation ne laisse pas les bibliothèques graphiques libérer certaines ressources elles-mêmes.

11 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.

11.1 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.

11.1.1 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 un problème.

La philosophie de travail utilisée a consisté en une version réadaptée 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 précédentes 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. Ici, c'est l'interface en ligne de commande de Git qui a été privilégiée ainsi que l'utilisation du plugin **fugitive** sur neovim.

11.1.2 Gdb

La taille et la complexité du code a nécessité l'utilisation d'un débogueur. Les débogueurs sont des outils très utiles pour comprendre comment un code s'exécute. L'outil qui a été utilisé est GDB (GNU Debugger) qui est compatible avec beaucoup de langages dont le C et C++.

GDB est un outil très puissant, comme la plupart des débogueurs, il permet de suivre l'exécution du code, d'évaluer des expressions, d'interagir avec le code en modifiant les valeurs des variables de façon interactive pendant une session ou encore d'inspecter le contenu des registres (utilisés dans le code assembleur généré par le compilateur). Cet outil propose aussi des fonctionnalités très avancées qui n'ont pas été utilisées durant le stage, mais qui sont tout de même intéressantes à noter. GDB permet la création de points de contrôle (commande **checkpoint**) qui permettent la sauvegarde de l'état du code pendant l'exécution pour pouvoir recharger cet état sans relancer tout le programme. Il permet aussi d'enregistrer une suite d'instructions pour pouvoir faire de l'exécution inversée et revenir en arrière dans l'exécution du code (commandes **record** et **reverse-step**). À noter également que GDB a aussi été très utile pour

faire fonctionner la solution utilisant des threads décrite dans la Section 5.1 en aidant à suivre l'exécution du programme dans les différents threads.

C'est aussi un outil configurable et sa configuration intègre un langage de script qui permet de créer des commandes personnalisées. Comme on peut le voir sur cet article [13], il est possible de faire des choses assez complexes avec la configuration de GDB comme créer une commande pour afficher un arbre binaire.

GDB a permis de gagner énormément de temps pendant le développement de l'outil de test et c'est malheureusement un outil assez sous-estimé à l'école. Certains développeurs comme John Carmack considèrent l'utilisation d'un débogueur indispensable pour comprendre le fonctionnement d'un programme. GDB n'est pas simple d'utilisation, mais c'est un outil léger puissant et flexible qu'il est très intéressant de connaître.

11.1.3 Environnement de Développement

Comme expliqué dans la section 3, l'IDE (MPLAB) des développeurs de la société n'a pas été utilisé pour développer l'outil de test en C. Pour la partie Qt, QtCreator n'a pas été utilisé non plus, car les projets ne sont pas fait pour être compilé avec gcc. Pour utiliser cet outil, il aurait fallu tout reconfigurer ce qui n'était pas souhaitable étant donné le fait que cela aurait complexifié la création de l'outil de test. L'environnement de développement utilisé durant le stage était donc *neovim*.

Neovim est un éditeur de texte puissant et surtout configurable. Par défaut il ne vient pas avec toutes de fonctionnalités que l'on retrouve avec la plupart des environnements de développement. Cependant, cet outil supporte nativement le gslsp qui permet à l'éditeur de se connecter à un serveur qui analyse le code en temps réel. Le serveur utilisé pour le C et le C++ se nomme **clangd**, il permet de détecter les erreurs de compilations, d'analyser les symboles (variables, fonctions, ...) pour faire de la recherche ou du renommage. Il fournit aussi une complétion de texte intelligente. Cet outil permet à n'importe quel éditeur supportant le LSP, d'être utilisé comme un IDE. La configuration utilisée durant le stage possède beaucoup d'autres fonctionnalités comme des outils de recherche de fichier ou de texte, une intégration de git, ...

Cet outil est assez peu apprécié par beaucoup de développeurs, car il est très difficile à prendre en main étant donné qu'il n'a presque pas d'éléments d'interface et que tout doit se faire au clavier. Cependant, c'est un éditeur très puissant qui, une fois maîtrisé, permet de faire beaucoup d'opérations rapidement tout en minimisant les mouvements de l'utilisateur. En effet, il permet de tout faire en utilisant uniquement les touches les plus accessibles du clavier ce qui évite de devoir déplacer ses mains sur la souris ou les touches directionnelles. C'est donc un outil confortable qui a grandement facilité le développement de l'outil de test.

11.2 Rédaction de la documentation

Un élément important de ce stage a été la rédaction de la documentation. En effet, l'objectif final étant de créer un outil qui soit utilisable et modifiable par les développeurs de la société, il était important de détailler toute l'implémentation et l'utilisation de l'outil. L'objectif de la documentation est donc de permettre d'une part l'utilisation de l'outil, ce qui comprend la rédaction de tests et l'utilisation de la simulation. D'autre part, elle doit permettre aux développeurs de comprendre comment la simulation fonctionne pour pouvoir simuler de nouveaux composants facilement ou modifier les composants existant si besoin.

La stratégie employée pour produire la documentation a été de rédiger les explications tout au long du développement. Cela a pour avantage de permettre une grande précision dans les explications, car on se souvient plus aisément de tous les détails lorsque l'on vient de produire une solution. Le défaut, par

contre, est que le code bouge beaucoup et des éléments sont souvent modifiés, voire même complètement réimplémentés comme cela a été le cas lors de l'abandon des threads en début de projet. Cela oblige à constamment réécrire des éléments de documentation et peut faire perdre beaucoup de temps.

Au final, la documentation de l'outil a pris deux formes. Tout d'abord, il y a une documentation entièrement rédigée qui apparaît dans le wiki du projet. Cette documentation décrit toutes les méthodes employées pour mettre en place l'outil de test (CMake, modification des fichiers, éléments simulés,...). Le wiki possède aussi une partie composée de tutoriels décrivant toutes les étapes à réaliser pour mettre en place un nouveau test ou encore simuler un nouveau composant. Ensuite, la documentation apparaît aussi dans le code sous forme de commentaires au format **doxygen**. Le principe est que chaque fonction possède un commentaire décrivant son fonctionnement ainsi que ses paramètres et la valeur qu'elle renvoie. Les structures ainsi que les éléments qui les compose sont aussi commentées. Les commentaires dans le code sont très importants, cependant il ne faut pas trop en abuser pour ne pas le surcharger. Chaque fonction possède un commentaire général décrivant son utilité, mais il n'y a que très peu de commentaire à l'intérieur du code, car il doit être compréhensible de lui-même. Pour ce faire, il y a plusieurs méthodes, tout d'abord il faut bien nommer les variables et les fonctions, ensuite, on peut utiliser des variables intermédiaires pour nommer les conditions par exemple.

La rédaction de la documentation a donc été un élément très important du stage et a pris presque autant de temps que le développement. Dans la section suivante, nous allons détailler la planification des tâches.

11.3 Planification des tâches

Dans cette section, nous comparer la planification du projet réalisée au départ avec le déroulement réel du projet à l'aide de deux diagrammes de Gantt.

Les tâches prévues lors du stage sont visibles sur la Figure ?? . 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

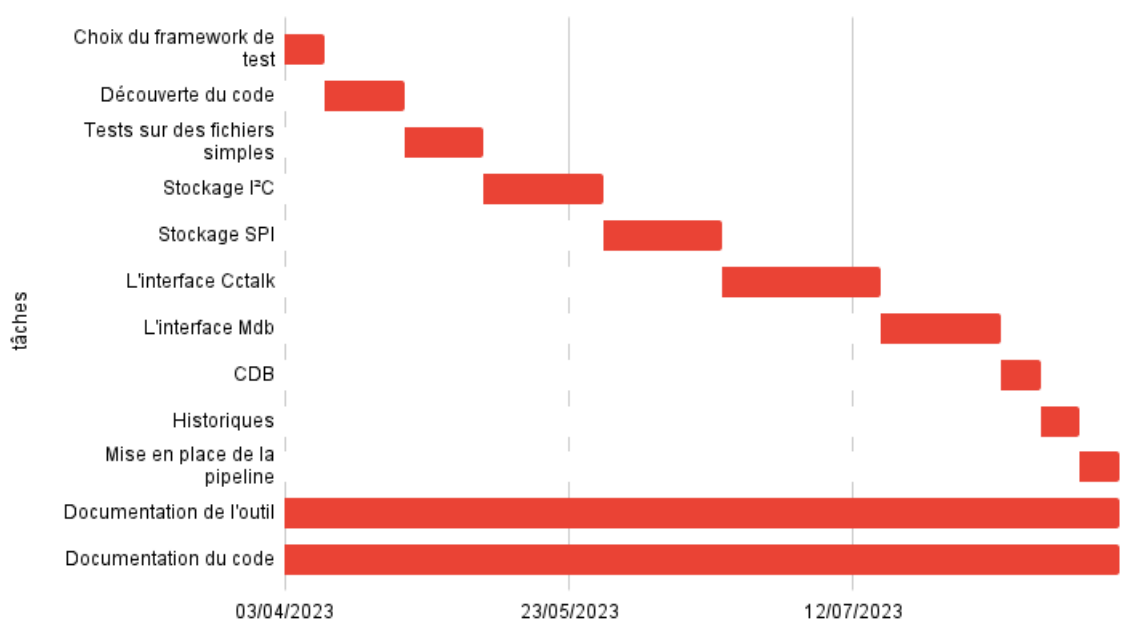


FIGURE 16 – Diagramme de Gantt prévisionnel.

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

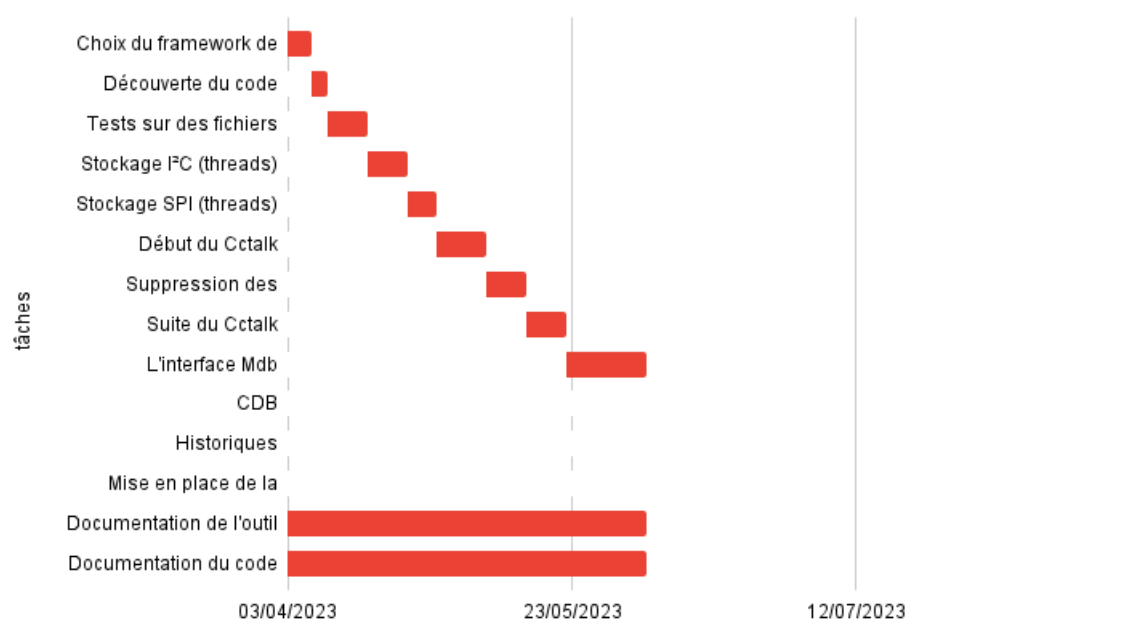


FIGURE 17 – Diagramme de Gantt actuel.

Troisième partie

Résultats et discussions

Dans cette dernière partie, nous commencerons par présenter l'outil final dans toutes ces versions (C et C++) puis nous discuterons des perspectives du projet. Enfin, avant de conclure, nous parlerons brièvement de l'inclusion du projet dans le développement durable.

1 L'outil final

Cette section va présenter le résultat final, tout d'abord sur la partie C puis sur la partie Qt.

Concernant la partie C, l'outil final a été complètement intégré au code commun sur les deux branches. Tout d'abord, l'outil met en place un framework de test complet et simple d'utilisation : **Criterion**. L'utilisation du framework a été détaillée dans la documentation rédigée durant le stage pour compléter celle du framework. Une configuration de CMake a aussi été mise en place pour simplifier la compilation. Cette configuration utilise CTest qui permet beaucoup d'opérations sur les tests comme le calcul de la couverture du code (lancement automatique de `gcov`).

L'outil propose aussi un système permettant de simuler les interfaces des composants électroniques utilisés dans les projets de l'entreprise. Cela comprend les périphériques de stockage (registres, eeproms et flash) utilisés en I²C et en SPI mais aussi d'autres périphériques interfacés en Ctalk et en MDB qui sont des protocoles spécialisés dans la monétique. Pour chacun des composants, la documentation détaille la méthode employée pour la simulation de sorte que l'on puisse facilement simuler de nouveaux composants. La simulation des protocoles monétiques propose deux niveaux de simulation pour les tests. Une version dans laquelle des fichiers ont été modifiés pour isoler les éléments testés du reste du code et une autre version qui passe par toute la chaîne d'instructions jusqu'aux fichiers du compilateur. Cela permet de faire à la fois des tests unitaires, mais aussi des tests d'intégration où l'on teste tout le code. La méthode consistant à créer des versions modifiées des fichiers a beaucoup été utilisée pour rendre les tests plus simples ou pour changer du code qui ne pouvait pas être compilé.

Au final, il est bien possible d'écrire des tests où le code testé interagit avec les composants simulés. Depuis ces tests, on peut accéder aux données que les composants reçoivent pour vérifier que cela correspond à ce qui était attendu. Enfin, la pipeline permettant d'automatiser les tests sur Gitlab a bien été mise en place et permet des opérations qui n'étaient pas demandées à la base comme le calcul de la couverture du code.

La partie C résout aussi un problème dû à la programmation embarquée côté C. En effet, l'optimisation du code pour la carte électronique rendait impossible l'utilisation d'un débogueur. L'outil de test permet d'exécuter une partie du code sur PC sans optimisation. De ce fait, l'utilisation d'un débogueur est maintenant possible et un script a été ajouté au projet pour lancer automatiquement le bon test dans `gdbgui`.

L'outil de test a déjà en partie prouvé son utilité en permettant la résolution de beaucoup de bugs suite à la fusion de la branche principale dans la branche de l'événementiel. En effet, la branche principale avait plusieurs mois d'avances sur la branche secondaire et beaucoup de changements avaient été faits. La fusion des deux branches a nécessité près de deux semaines de travail et les tests ont permis la détection de plusieurs problèmes.

Pour la partie Qt une solution similaire à celle du C a aussi été mise en place. Les procédés d'implé-

mentation ont été les mêmes qu'au début du projet. Ici, la programmation orientée objet a été utilisée pour simplifier le code. La technique du mocking consistant en la création de classes intermédiaires donnant accès à certains éléments protégés des classes a été utilisée pour faciliter les tests. Ici, tout n'a pas été fait comme prévu puisque à l'origine, le framework utilisé côté devait aussi servir côté C++, cependant, le framework QTest s'est avéré être plus adapté. Des modifications sur l'utilisation du framework ont tout de même été apportées pour permettre la mise en place de suites de tests.

Comme pour la partie C, les composants électroniques ont été simulés. La simulation est simple à utiliser et à copier, et elle permet bien de tester du code qui est normalement censé interagir avec des composants réels.

Enfin, la pipeline mise en place est plus complexe que celle du C, car ici, un nouveau test a été ajouté. En effet, les développeurs avaient des difficultés à utiliser valgrind sur Windows, pour palier à ce problème, un test memcheck a été mis en place au niveau de la pipeline. Lorsque ce test échoue, on peut récupérer les logs en téléchargeant les artefacts.

Le cahier des charges est donc rempli que ce soit pour la partie C ou la partie C++. Dans la section suivante, nous allons discuter des défauts de l'outil et des perspectives d'évolution.

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.

TODO : parler du fait qu'on est obligé d'utiliser des wait en Qt TODO : les tests ne sont pas faciles à écrire (machines à états)

3 Développement durable

Dans cette section, nous allons voir en quoi ce simple projet de test peut s'inscrire dans une démarche de développement durable.

Tout d'abord, l'objectif du stage était la mise en place d'un outil permettant l'automatisation de tests sur du code s'exécutant sur des cartes électroniques. Les cartes électroniques sont ensuite utilisées sur des bornes installées dans divers endroits, en France comme à l'étranger. Les problèmes sur ce genre de dispositifs peuvent avoir un impact non négligeable sur l'environnement. En effet, lorsqu'il y a un problème au niveau du code, cela nécessite de mettre les cartes à jour. Dans le meilleur des cas, cela est possible en utilisant le système de mise à jour automatique créé par la société. Cependant, cela va consommer beaucoup de bande passante, car il va falloir envoyer via internet un nouveau binaire ou une nouvelle configuration les cartes. Dans le pire des cas, lorsque la borne est trop vieille ou qu'elle n'est pas connectée à internet, il faut faire intervenir un technicien qui devra se déplacer en voiture pour mettre jour la borne manuellement. Le fait de détecter les problèmes au plus tôt avec des tests automatisés peut grandement limiter les risques de problèmes par la suite et donc l'obligation de mettre à jour les bornes.

Ensuite, l'outil créé ne permet pas seulement de faire des tests, il permet aussi de faire des statistiques au niveau du code. Par exemple, l'analyse de la couverture des tests peut non seulement donner une idée de la qualité des tests, mais aussi sur la qualité du code. Si l'on cherche à faire des tests les plus complets possibles, mais que le pourcentage de couverture restes bas, cela peut être indicateur du fait qu'il y a du code inutile. Le fait d'enlever les éléments inutiles dans un programme permet d'un part de gagner en simplicité et donc de limiter les risques d'erreurs. D'autre part, cela aide à limiter la taille des exécutables et donc à consommer moins de mémoire. Étant donné que les programmes sont de plus en plus consommateurs de mémoire, le fait d'optimiser cette consommation peut permettre d'exécuter le code sur des cartes plus anciennes et d'économiser la mémoire sur les nouvelles cartes augmentant ainsi leurs durées de vie. Étant donné le fait que la fabrication de cartes électroniques coûte cher en métaux rares, le fait de pouvoir utiliser d'anciennes cartes permet d'économiser les ressources naturelles. En plus de cela, il reste peu d'entreprise qui utilisent encore des cartes électroniques à cause de la complexité du code. Maintenant ce sont les PC qui sont privilégiés même dans l'embarqué alors que ces derniers sont moins fiables et plus consommateurs en énergie et en métaux rares. L'optimisation du code donc est cruciale pour pouvoir continuer à utiliser de simples cartes électroniques.

Enfin, la mise en place de l'outil s'est aussi fait dans une démarche environnementale. Par exemple, lors de la mise en place de la pipeline des communs C++, il s'est avéré qu'il fallait télécharger et installer toutes les bibliothèques à chaque exécution. Cela n'était pas souhaitable étant donné la taille des paquets à installer, surtout lorsque l'on considère le fait que les pipelines peuvent être exécutés plusieurs dizaines de fois par jours. C'est pour cela que la création d'une image docker prés-configurée a été automatisée, de sorte que l'on n'ait plus rien à télécharger au lancement de la pipeline des communs. Cette image est compilée bien moins souvent et permet d'économiser du temps et de la bande passante au lancement de la pipeline Qt. Le temps gagné permet aussi de libérer les ressources du serveur Gitlab plus rapidement pour économiser de l'énergie.

Ce projet n'est donc à priori aucunement lié au développement durable, il permet cependant de manière indirecte de limiter les consommations de ressource. De plus, le projet a été fait de manière responsable de sorte à polluer le moins possible.

Conclusion

CONCLUSION

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=314537daa1f601f83044b25b68e2af6c8f331f3f>.
- [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>.
- [10] 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] ISO, "ISO C Standard 1999," rapp. tech., 1999, ISO/IEC 9899 :1999 draft. adresse : <http://www.open-std.org/jtc1/sc22/wg14/www/docs/n1124.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 (visité le 03/03/2023).
- [2] M. JONES, *TESTING STATE MACHINES*, 2009. adresse : https://accu.org/journals/overload/17/90/jones_1548/ (visité le 03/03/2023).
- [4] WIKIPÉDIA, *I2C* — *Wikipédia, l'encyclopédie libre*, [En ligne; Page disponible le 13-octobre-2022], 2022. adresse : <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=I2C&oldid=197726464>.
- [12] CUBBI, "Arithmetic types," rapp. tech., 2023. adresse : https://en.cppreference.com/w/c/language/arithmetic_types.
- [13] K. ELPHINSTONE. "GDB - Init File." (2020), adresse : https://www.cse.unsw.edu.au/~learn/debugging/modules/gdb_init_file/.

Glossaire

DES (Data Encryption Standard) algorithme de chiffrement symétrique.. 22

fullduplex tous les éléments peuvent parler en même temps.. 18

halfduplex deux émetteurs ne transmettent jamais des données en même temps.. 16, 22

LSP (Language Server Protocol) standard de communication pour les outils de développements développés par Microsoft.. 46

PIC (Peripheral Interface Controller) famille de microcontrôleurs de l'entreprise Microship.. 5, 17, 18, 23

protocole série protocole dont les éléments d'informations se succèdent sur une seule voie entre deux points.. 16, 18, 22

slots fonctions membres des classes Qt qui peuvent être appelées avec l'émission signaux.. 36

sous module git bibliothèques qui ont leur propre répertoire distant, elles sont stockées dans un projet à part sur Gitlab.. 8, 9, 32

TAP (Test Anything Protocol) protocole qui permet d'assurer la communication entre des modules de test et les outils qui permettent l'automatisation des tests.. 6

Table des annexes

A	Extraits de codes pour les frameworks	58
B	Test sur l'envoi des historiques sur le serveur	63
C	Exemple de scénario MDB	65

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 13 – 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 14 – 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 15 – 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 16 – 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 17 – 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 18 – 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 19 – Tau : exemple simple.

B Test sur l'envoi des historiques sur le serveur

```
Test(CKSPROHISSND_Tests, TESTCKSPROHISSND_CdbFill,
     .init = TESTCKSPROHISSND_Setup, .fini = TESTCKSPROHISSND_Tearardown)
{
    TEEPROM_ADDR Addr;
    uchar HisElts[20][sizeof(TITEM_PAYMENT)] = {0};
    int HisEltsCount = 0;
    int Cpts;

    // 1. remplir le cdb
    for (Cpts = 0; Cpts < History->RecordMax - 1; ++Cpts) {
        CDB_IndexToAddr(History, History->Control.Count, &Addr);
        TESTCKSPROHISSND_RandomItemGenerate();
        // sauvegarde des éléments enregistrés
        memcpy(HisElts[HisEltsCount++],
               &TESTCKSPROHISSND_ItemHisPayment, sizeof(TITEM_PAYMENT));
        cr_assert(true == CDB_Add(History, (uchar*)
                                   &TESTCKSPROHISSND_ItemHisPayment));
        cr_assert(eq(u8[sizeof(TITEM_PAYMENT)],
                     TESTMEM_EEPROM[0] + Addr,
                     (uchar*) &TESTCKSPROHISSND_ItemHisPayment));
        // vérification du début de l'eprom
        cr_assert(eq(u8[sizeof(History->Control)],
                     TESTMEM_EEPROM[0] + History->Store.DataAddr + 8 + 1,
                     (uchar*) &History->Control));
    }

    // init CKSPROHISSND_Control
    CKSPROHISSND_Control();
    TESTTIMER_Wait(2001);
    CKSPROHISSND_Control();
    CKSPROHISSND_Control(); // on arrive dans l'état 2

    // 2. traiter l'historique
    HisEltsCount = 0;
    for (Cpts = 0; Cpts < History->RecordMax - 1; ++Cpts) {
        CKSPROHISSND_Control();
        cr_assert(true == TESTCKSPRO_CmdSent);
        TESTCKSPRO_CmdSent = false;
        // on récupère l'élément que l'on est sensé envoyer et on vérifie l'envoi
        memcpy(&TESTCKSPROHISSND_ItemHisPayment,
               HisElts[HisEltsCount++], sizeof(TITEM_PAYMENT));
        cr_assert(true == TESTCKSPROHISSND_CmdCheck());
        CKSPROHISSND_Control();
    }
}
```

```

}

// 3. re-remplir le cdb
HisEltsCount = 0;
for (Cpts = 0; Cpts < History->RecordMax - 1; ++Cpts) {
    CDB_IndexToAddr(History, History->Control.Count, &Addr);
    TESTCKSPROHISSND_RandomItemGenerate();
    // sauvegarde des éléments enregistrés
    memcpy(HisElts[HisEltsCount++],
           &TESTCKSPROHISSND_ItemHisPayment, sizeof(TITEM_PAYMENT));
    cr_assert(true == CDB_Add(History,
                              (uchar*) &TESTCKSPROHISSND_ItemHisPayment));
    cr_assert(eq(u8[sizeof(TITEM_PAYMENT)],
                TESTMEM_EEPROM[0] + Addr,
                (uchar*) &TESTCKSPROHISSND_ItemHisPayment));
    // vérification du début de l'eprom
    cr_assert(eq(u8[sizeof(History->Control)],
                TESTMEM_EEPROM[0] + History->Store.DataAddr + 8 + 1,
                (uchar*) &History->Control));
}

// 4. traiter à nouveau l'historique
HisEltsCount = 0;
for (Cpts = 0; Cpts < History->RecordMax - 1; ++Cpts) {
    CKSPROHISSND_Control();
    cr_assert(true == TESTCKSPRO_CmdSent);
    TESTCKSPRO_CmdSent = false;
    // on récupère l'élément que l'on est sensé envoyer et on vérifie
    // l'envoi
    memcpy(&TESTCKSPROHISSND_ItemHisPayment,
           HisElts[HisEltsCount++], sizeof(TITEM_PAYMENT));
    cr_assert(true == TESTCKSPROHISSND_CmdCheck());
    CKSPROHISSND_Control();
}
}

```

C Exemple de scénario MDB

```
void TESTMDBCASHLESS_ValidSingleVendPlay(void)
{
    TESTMDB_SCENARIO.NbActions = 0;
    TESTMDB_SCENARIO.Index = 0;
    uchar VendRequest[1] = { 0x00 };
    uchar VendSuccess[1] = { 0x02 };
    uchar SessionComplete[1] = { 0x04 };
    uchar InitialCredit[2] = { 0, 50 };
    uchar Money[2] = { 0, 10 };
    uchar BEGIN_SESSION = 0x03;
    uchar VEND_APPROVED = 0x05;
    uchar END_SESSION = 0x07;

    // début de session
    SCENARIOMDB_StepAdd(0x10, POLL, NULL, 0, BEGIN_SESSION, InitialCredit, 2);
    SCENARIOMDB_StepAdd(0x10, ACK, NULL, 0, -1, NULL, 0);

    // traitement d'une vente
    SCENARIOMDB_StepAdd(0x10, VEND, VendRequest, 1, ACK, NULL, 0);
    SCENARIOMDB_StepAdd(0x10, POLL, NULL, 0, VEND_APPROVED, Money, 2);
    SCENARIOMDB_StepAdd(0x10, ACK, NULL, 0, -1, NULL, 0);
    SCENARIOMDB_StepAdd(0x10, VEND, VendSuccess, 1, ACK, NULL, 0);

    // fin de session
    SCENARIOMDB_StepAdd(0x10, VEND, SessionComplete, 1, ACK, NULL, 0);
    SCENARIOMDB_StepAdd(0x10, POLL, NULL, 0, END_SESSION, NULL, 0);
    SCENARIOMDB_StepAdd(0x10, ACK, NULL, 0, -1, NULL, 0);
}
```

Listing 20 – Scénario de validation d’une vente simple.