

Équipe FF11

Julia Asselin

Callista Bélanger

Shakira Elmi

Gelbert Simo

Dieu Merci Tshiaba

Livrable G : Prototype 2 et rétroaction des clients

Travail présenté au

professeur Bouendeu

dans le cadre du cours

GNG1503

Université d'Ottawa

Le 9 mars 2025

## Table des matières

<b>Introduction.....</b>	<b>2</b>
<b>Rétroaction du client.....</b>	<b>2</b>
<b>Prototype 2.....</b>	<b>3</b>
Objectifs.....	3
Modèle du prototype 2.....	4
Résultats des essais.....	4
Rétroaction des utilisateurs.....	5
<b>Plan du prototype 3.....</b>	<b>6</b>
Objectifs.....	6
Plan du prototype 3.....	6
<b>Mise à jour des spécifications de conception techniques et de la nomenclature des matériaux.....</b>	<b>9</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>10</b>
<b>ANNEXE A.....</b>	<b>11</b>
<b>ANNEXE B.....</b>	<b>12</b>

## **Introduction**

Après avoir présenté notre premier prototype, ainsi que les analyses et résultats obtenus, notre client nous a posé plusieurs questions. L'une d'elles concernait la capacité de nos lecteurs RFID à lire une puce spécifique. Nous l'avons rassuré en expliquant que tous les lecteurs étaient capables de lire toutes les puces sans distinction et qu'il n'était donc pas nécessaire de définir un couloir spécifique pour chaque voiture.

Nous avons également informé le client que nous allions ajouter des traducteurs de tension entre l'Arduino et les détecteurs RFID. En effet, bien que l'Arduino dispose d'une sortie 3.3V, ses entrées/sorties (I/O) fonctionnent en 5V. L'ajout de ces convertisseurs permettra d'utiliser directement la sortie 5V, même en cas de légère diminution de la tension, comme nous l'a suggéré notre consultant. Par ailleurs, nous testerons notre code par sections à l'aide de tests unitaires ("unit testing") afin d'en améliorer l'efficacité et la fiabilité.

En prenant en compte toutes les recommandations reçues, nous avons apporté des ajustements à notre premier prototype. Pour ce deuxième prototype, présenté dans ce document, nous nous sommes concentrés sur la construction du circuit, l'intégration des capteurs et l'utilisation du microcontrôleur Arduino. L'objectif principal de ce prototype est de fixer les métriques de distance entre les capteurs, entre les capteurs et la rampe, ainsi que l'épaisseur de la rampe, afin d'assurer une fiabilité maximale du système.

## **Rétroaction du client**

Le prototype 1 a été présenté au client pour recueillir sa rétroaction. Le prototype 1 consistait du code servant à interpréter les données des capteurs et d'un modèle analytique de l'installation de la ligne d'arrivée. Les deux remarques du client sont les suivantes : il faudrait vérifier la capacité du système à détecter plusieurs voitures en même temps et la nécessité d'instaurer des couloirs désignés aux voitures. Par rapport à la détection de plusieurs voitures, il a été assuré que cette remarque serait retenue, et cet aspect serait testé en parallèle avec les autres tests prévus. Par exemple, les tests de distance entre les capteurs et entre les capteurs et les voitures peuvent être faits avec une, puis plusieurs voitures. Quant à la désignation des capteurs à une voiture spécifique, ce ne sera pas appliqué au projet, car la technologie RFID des capteurs MFRC522 permet de détecter n'importe quel UID d'une puce avec n'importe quel capteur. De plus, les commentaires généraux donnés à propos des autres systèmes montrés au client accentuent l'importance de s'assurer que le système puisse détecter les quatre voitures en même temps et

à de hautes vitesses. Des recommandations ont été données pour compenser une vitesse de détection trop lente, soit penser à ralentir les voitures. En somme, les remarques du client, la détection de plusieurs voitures, sont intégrées dans le plan du troisième prototype.

## Prototype 2

### Objectifs

Le deuxième prototype se focalise sur la construction du circuit. Le prototype 2 consiste du circuit de capteurs et du microcontrôleur Arduino. Ce sous-système testera un besoin critique de la conception : le système détecte les voitures à chaque fois qu'elles passent. Les tests sont réalisés grâce aux essais décrits dans le plan du prototype 2 et à l'aide du code écrit dans le prototype 1. Grâce au code, nous serons capable de déterminer si la métrique du paramètre testé est adéquate ou si des ajustements sont nécessaires. L'objectif principal de ce prototype est entre autres de fixer les métriques de distance entre les capteurs afin d'assurer que dans un scénario extrême où quatre voitures passent la ligne d'arrivée, les capteurs couvrent suffisamment la piste pour que toutes les voitures soient détectées sans collision. Il permet également d'optimiser le champ de détection des capteurs en vérifiant la distance horizontale maximale entre chacun des capteurs et la distance verticale maximale entre les capteurs et la rampe. Les capteurs doivent être placés en dessous de la rampe. La distance entre les capteurs et la rampe est importante puisqu'il faut assurer que les voitures soient capables de monter sur le pont sans dévier et qu'elles soient suffisamment proches pour être détectées. Finalement, la détermination de l'épaisseur de la rampe assure la fiabilité maximale du système. Ceci est un objectif critique, car la rampe a pour but d'améliorer le système : elle ne doit pas embrouiller la détection. La prototype 2 sert donc à déterminer l'épaisseur maximale de la rampe et le prototype 3 test si cette épaisseur concorde avec les contraintes de poids des voitures.

### Hypothèses

Afin de construire un circuit permettant d'utiliser les capteurs MFRC522, il faut brancher ses broches comme suit <sup>1</sup> :

Broche	Entrée Arduino
VCC	3,3 V
RST	D9

GND	GND
MISO	D12
MOSI	D11
SCK	D13
NSS	D10

Afin de brancher quatre capteurs au microcontrôleur, il faut brancher les broches analogues de chacun des capteurs sur les mêmes rangées, puis connecter ces rangées aux bonnes entrées sur l'Arduino. De plus, il faut s'assurer que les *pins* auxquels les capteurs sont branchés correspondent aux déclarations dans le code, soit 4, 5, 6 et 7.

## Modèle du prototype 2

Figure 1- Circuit entier du prototype 2

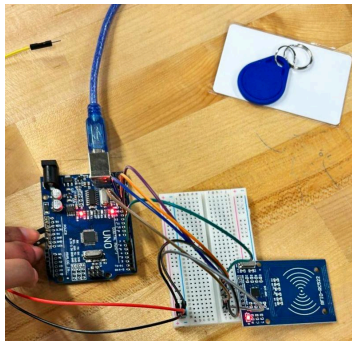


Figure 2- Gros plan sur les connexions du capteur dans le circuit

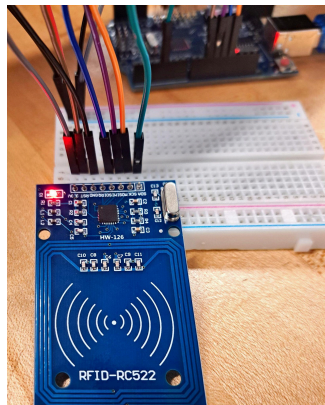
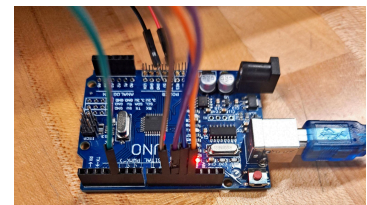


Figure 3- Gros plan sur les connexions du microcontrôleur dans le circuit



Comme il est possible de voir dans Figure 1, le prototypage n'est pas complet. Seulement un capteur est inclus dans le circuit. Ceci est dû au fait que le circuit n'établit pas une communication adéquate entre le capteur et le microcontrôleur. La littérature a pourtant été consultée pour savoir comment connecter chacune des broches du capteur MFRC522. Le problème pourrait donc être le suivant : le microcontrôleur est endommagé. Cela peut être vu dans Figure 3 : les broches en arrière-plan de la figure n'ont pas la

pièce de plastique qui devrait les couvrir. Ceci a possiblement affaibli les connexions et empêché un apport efficace de courant au capteur puisqu'une des broches endommagées est la sortie de 3,3 V.

## Résultats des essais

Les essais prévus pour ce prototype sont le test de la distance horizontale maximale pour laquelle les capteurs détectent, le test de la distance verticale maximale pour laquelle les capteurs détectent et le test de l'épaisseur maximale de plastique, de carton ou de bois pour laquelle les capteurs peuvent détecter. Toutefois, le prototype réalisé n'a permis que de vérifier la capacité de détecter une seule puce sans tester les métriques énoncées ci-dessus. Les essais réellement réalisés avec le prototype sont décrits au Tableau 1. Cela est dû à une défaillance probable du microcontrôleur. Afin de ne pas prendre de retard sur l'échéancier, un plan de solution a été établi :

- Consulter une experte en génie électrique pour confirmer le problème qui a été identifié avec le circuit et obtenir des conseils pour sa réparation ;
- Effectuer les tests prévus en parallèle avec les tests du prototype 3.

Tableau 1- Essais et résultats du prototype 2

Essai	Objectif	Résultat	Interprétation/modification apportée
<b>1 (répété plusieurs fois)</b>	Vérifier si le capteur est bien connecté en exécutant le code.	Échec de communication avec les capteurs (voire <a href="#">Annexe B</a> ).	Seul le capteur 0 était connecté donc il est normal que les autres affichent une erreur. Le capteur 0 affiche 0x0 = (unknown), ce qui veut dire qu'il ne répond pas. Les connexions sont vérifiées, particulièrement pour l'apport du courant.
<b>2</b>	Vérifier si le capteur est bien connecté en exécutant le code.	Communication pour un des quatre capteurs (ce qui concorde avec les connexions établies) (voire <a href="#">Annexe B</a> ).	Arduino indique pour la capteur 0 "0x92 = v2.0". Ceci veut dire que le capteur est connecté.
<b>3</b>	Scanner une puce et obtenir son UID.	Aucune réponse dans Arduino.	Essais avec les autres puces, mais les résultats sont les mêmes.

			Essais à différentes durées et vitesses, mais les résultats sont les mêmes.
--	--	--	---

### **Rétroaction des utilisateurs**

Puisque les essais n'ont pas été très concluants, la rétroaction est limitée. La rétroaction principale est de procurer un nouvel Arduino avec les broches qui fonctionnent bien. De cette façon, ce serait beaucoup plus facile d'identifier le problème et de clairement savoir ce qui ne fonctionne vraiment pas. Deuxièmement, ajouter les translateurs de voltage permettra d'être certain que les capteurs sont bien alimentés et que les broches I/O reçoivent bien leurs signaux. En somme, l'avis que nous avons reçu est de s'assurer que les pièces physiques fonctionnent bien pour pouvoir éliminer cette possibilité de problème.

## **Plan du prototype 3**

### **Objectifs**

Le prototype 3 correspond est un prototype physique complet de haute fidélité. Comme continuité du prototype 2, la rampe complète et finale est ajoutée et le circuit est fixé par rapport à la rampe dans sa position finale. Alors, le prototype, le système final, comportera le circuit connectant les capteurs RFID, les convertisseurs de niveau quatre canaux et le microcontrôleur, les puces qui seront attachées aux voitures, le code qui traduit les signaux des capteurs et la rampe qui permet aux voitures de passer au-dessus des capteurs. Les prototypes précédents avaient pour objectifs de produire un code rendant le circuit fonctionnel et de déterminer quelles sont les distances optimales entre les composantes du circuit pour le rendement le plus fiable. Ce prototype met à l'épreuve la capacité de résistance de la rampe et la fiabilité et l'usabilité globale du système.

### Plan du prototype 3

Avant de passer aux tests décrits ci-dessus, il faut effectuer les tests prévus pour le prototype 2, rappelés à [Annexe A](#). Ensuite, il faut créer les sous-systèmes manquants : la rampe et le circuit complet et fonctionnel.

Tableau 2- Plan de la conception du prototype 3

Tâche	Date et durée
Fabrication du circuit fonctionnel	13 mars 2025, deux heures.
Test 2	13 mars, 30 minutes.
Test 3	17 mars, 30 minutes.
Test 4	17 mars, 30 minutes.
Fabrication de la rampe	14 mars 2025, une heure.

Tableau 3-Plan du test de résistance du prototype 3

Concept de conception		<u>Système de détection à puces RFID</u>			
Test	Problème critique probable	Objectif du test	Description du test	Méthode d'analyse	
5	La rampe peut soutenir les quatre voitures en même temps.	Déterminer la capacité de résistance de la rampe afin qu'elle soit fiable durant la course et ne brise pas.	Ajout de poids graduel sur la rampe. Ajout de pression sur les côtés de la rampe.	Analyse du poids supporté par comparaison avec la contrainte (7 kg).	
Test	Éléments mesurables	Métriques	Niveau et fidélité du prototype	Type de prototype	Date et durée
5	Le poids maximum que la rampe peut supporter verticalement et la force qualitative qu'elle peut supporter horizontalement.	Poids : kg.	Haute fidélité, complet.	Physique	13 mars 2025, 30 minutes.



Ce test consiste à apporter des poids/objets qui correspondent au poids des quatre voitures (environ 7 kg au total) sur la rampe. On examine si la rampe subit une déformation ou des bris. Il faut ensuite tester la résistance horizontale verticale pour s'assurer d'installer un système qui ne bascule pas de droite à gauche. La méthode utilisée consiste à appliquer de la force manuellement.

Tableau 4-Plan du test de vitesse du prototype 3

Concept de conception		Système de détection à puces RFID			
Test	Problème critique probable	Objectif du test	Description du test	Méthode d'analyse	
6	Le système est capable de détecter malgré la vitesse des voitures.	Déterminer quel est le délai de détection des capteurs. Déterminer s'ils peuvent toujours détecter si on augmente la vitesse à laquelle les puces passent. Trouver une solution qui pourrait accommoder les voitures à la vitesse de détection des capteurs.	Passer les puces devant les capteurs à différentes vitesses et noter les délais durant lesquels les puces sont dans le champ de détection de la puce.	Calculer la vitesse détectable grâce aux délais testés et à la longueur de la ligne d'arrivée (vitesse = distance/durée). Effectuer des graphes du succès de la détection selon la vitesse des puces.	
Test	Éléments mesurables	Métriques	Niveau et fidélité du prototype	Type de prototype	Date et durée
6	Délai de détection du capteur	Temps : s.	Haute fidélité, complet.	Analytique + physique	17 mars 2025, 30 minutes.

Les puces sont passées devant le capteur d'abord très lentement, puis de plus en plus rapidement. Une fois que plusieurs essais sont faits, la probabilité de détection selon la vitesse de passage pourra être déterminée. Comme mentionné dans l'objectif du test, si la détection est trop lente et affecte la lecture des puces, nous pouvons augmenter la vitesse de détection soit en optimisant le code ou en investissant dans des capteurs RFID qui ont une vitesse beaucoup plus rapide. Si le budget ne permet pas ceci, la rampe peut être ajustée afin que les voitures n'aient aucune choix que de ralentir lorsqu'elles approchent les capteurs. Le choix de l'emplacement de la ligne d'arrivée peut aussi être modifié pour régler ce problème : en la plaçant juste après une courbe, les voitures ralentissent naturellement afin de ne pas causer d'accident.

Tableau 5- Plan du test de détection de multiples voitures du prototype 3

Concept de conception		Système de détection à puces RFID			
Test	Problème critique probable	Objectif du test	Description du test	Méthode d'analyse	
7	Le système détecte quatre voitures en même temps.	Confirmer que quatre voitures peuvent être détectées en même temps.	Faire passer deux, trois, puis quatre puces devant les capteurs. Arrêter lorsque toutes les puces sont détectées parfaitement lors de 4 essais consécutifs.	Utiliser Arduino IDE pour déterminer si les bonnes puces sont détectées et si la passage de plusieurs puces affectent la précision des détection.	
Test	Éléments mesurables	Métriques	Niveau et fidélité du prototype	Type de prototype	Date et durée
7	Nombre de puces détectées.	Nombre de puces.	Haute fidélité, complet	Physique	17 mars, 30 minutes.

## Mise à jour des spécifications de conception techniques et de la nomenclature des matériaux

Tableau 6- Spécifications de conception technique

Critère	Relation	Valeur	Unités
Poids à supporter par la rampe	$\geq$	7	kg
Vitesse détectable	$>$	30	km/h
Précision du chronométrage	$\pm$	1	s
Coût	$\leq$	100	\$
Couverture de la largeur de la piste	$\geq$	1	m
Distance entre les	$=$	À déterminer	cm

capteurs			
Hauteur de la rampe	=	À déterminer	cm
Épaisseur de la rampe	=	À déterminer	cm

Tableau 7- Nomenclature des matériaux

Numéro	Description du composant	Quantité	Prix unitaire	Prix Calculé
1	<a href="#">Microcontrôleur</a>	1	9,00\$	9,00\$
2	<a href="#">Fils électriques mâle-mâle</a>	20	0,10\$	2,00\$
3	Fils électriques mâle-femelle	40	0,10\$	4,00\$
4	<a href="#">Breadboard</a>	1	2,50\$	2,50\$
5	<a href="#">Senseur RFID</a>	1	17,99\$	17,99\$
6	<a href="#">Velcro</a>	1	4,99\$	4,99\$
7	Ruban adhésif	1	3\$	3,00\$
8	Carton	2	2\$	2,00\$
9	Bois	2	10\$	10,00\$
10	<a href="#">Convertisseurs de niveau 4 canaux</a>	1	9,99\$	9,99\$
<b>Total + taxe et livraison :</b>				67,81\$

Les coûts et les quantités des matériaux sont susceptibles de changer tout au long des essais. Il sera possible de garder le fil de ces informations et de les modifier à [Nomenclature des matériaux FF11.xlsx](#)

## Conclusion

Pour conclure, après la présentation du prototype 1 au client, celui-ci a posé deux remarques: une sur la capacité de détection du système et l'autre sur l'instauration de couloir au système. Pour y remédier à ses

problèmes nous allons faire des tests et potentiellement placer la ligne d'arrivée dans un tournant pour réduire la vitesse des voitures. De plus, le deuxième prototype a porté sur la fabrication du circuit. Ce prototype avait pour but de détecter la distance nécessaire pour qu'un capteur détecte une voiture et la vitesse à laquelle celui-ci peut faire cela. Pour ce faire, les tests sont réalisés grâce aux essais décrits dans la plan du prototype 2 et à l'aide du code du prototype 1. Malencontreusement le circuit n'a pas été en mesure d'avoir une communication adéquate avec l'ordinateur. Pour ne pas prendre du retard sur l'échéancier on a fait appel à un ingénieur en génie électrique qui nous a conseillé de se procurer un nouveau microcontrôleur et des translateurs de voltage. D'autre part, le prototype 3 a pour but de finaliser la réalisation du circuit ainsi que la rampe tout en se rassurant que le système soit fonctionnelle sur toutes ces façades étant numérique et physique. Enfin une mise à jour de la nomenclature des matériaux qui possède leurs prix et leurs quantités a été faite.

## Références

1. cobbsaladlove. (s.d.). *Use MFRC522 RFID Reader With Arduino*. Instructables.

## ANNEXE A

Tableau 8- Plan d'essais du prototype 2

Concept de conception		Système de détection à puces RFID						
Test	Problème critique probable	Objectif du test	Description du test	Méthode d'analyse	Éléments mesurables	Métriques	Niveau et fidélité du prototype	Type de prototype
2	Le système a une couverture de détection adéquate sur la largeur de la piste.	Mesurer la distance/proportion de la piste que les capteurs couvrent.	Scanner les puces à des distances de plus en plus grandes horizontalement aux capteurs.	Déterminer à quelle distance maximale la détection est la plus fiable. Calculer les distances maximales entre les capteurs et ainsi la proportion couverts de la piste et le champ de détection horizontal.	Distance entre les capteurs.	Longueur : cm.	Fidélité moyenne, ciblé.	Physique
3	Le système peut détecter les voitures à la hauteur de la rampe.	Déterminer la hauteur de la rampe.	Scanner les puces à des distances de plus en plus grandes verticalement.	Déterminer à quelle distance maximale la détection est la plus fiable.	Distance entre le capteur et la puce.	Hauteur : cm.	Moyenne, fidélité, cible.	Physique
4	La rampe est d'une épaisseur et d'un matériau n'embrouillant pas la détection.	Choisir le meilleur matériel et la meilleure épaisseur pour le pont.	Scanner les puces à travers un morceau de bois, de plastique et de carton. Pour chacun des matériaux, augmenter graduellement l'épaisseur.	Déterminer 1) si le matériau permet toujours de scanner la puce et 2) lequel des matériaux le permettent à la plus grande épaisseur.	Épaisseur du matériau.	Épaisseur : mm.	Moyenne, fidélité, cible	Physique.

## **ANNEXE B**

### **Essai 1 :**

Checking all Readers!

Reader 0: Firmware Version: 0x0 = (unknown)

WARNING: Communication failure, is the MFRC522 properly connected?

Reader 1: Firmware Version: 0xB2 = (unknown)

Reader 2: Firmware Version: 0x0 = (unknown)

WARNING: Communication failure, is the MFRC522 properly connected?

Reader 3: Firmware Version: 0xFF = (unknown)

WARNING: Communication failure, is the MFRC522 properly connected? There is a Problem!

### **Essai 2 :**

Checking all Readers!

Reader 0: Firmware Version: 0x92 = v2.0

Reader 1: Firmware Version: 0x0 = (unknown)

WARNING: Communication failure, is the MFRC522 properly connected?

Reader 2: Firmware Version: 0x0 = (unknown)

WARNING: Communication failure, is the MFRC522 properly connected?

Reader 3: Firmware Version: 0xFF = (unknown)

WARNING: Communication failure, is the MFRC522 properly connected? There is a Problem!