

Université d'Ottawa

Faculté d'ingénierie

GNG 1503 – Génie de la Conception

- Livrable D : Conceptions préliminaires –



uOttawa

Daan Vingerder | 300428610

Cheikh Ahmeth Tidiane Kebe | 300382813

Chrispin Niyomukiza | 300419167

Aissatou Diallo | 300260168

Samuel Caiado | 300440404

Jean-Marie Eudes Ehounou | 300455988

Chargé du cours: Emmanuel Bouendeu

Date: 6 février 2025

Résumé

Les étapes d'empathie et d'idéation une fois complétées, l'étape d'idéation peut être entamée. Ce rapport contient ainsi les multiples idées implémentées dans le but de résoudre le problème de conception imposé. Dans les lignes qui suivront, une section sera dédiée au résumé des critères de conception, le problème sera rappelé et les potentielles solutions trouvées ainsi que leurs avantages et inconvénients seront présentées. A partir des solutions proposées, la sélection d'une meilleure approche de solution pour la suite du projet sera enfin sélectionnée.

Table des matières

Résumé	i
1. Introduction	1
2. Résumé de nos critères de conception.....	1
3. Problème de conception	1
4. Solutions de conception préliminaire	2
5. Analyse des solutions de conception préliminaire	5
6. Systèmes fonctionnels	9
7. Analyse des Systèmes fonctionnels.....	12
8. Solution générale	13
9. Conclusion et recommandations.....	14
10. Rérérence.....	14

Liste des figures

Figure 1: Esquisse du système fonctionnel 1	10
Figure 2: Esquisse du système fonctionnel 2	11
Figure 3: Esquisse du système fonctionnel 3	12
Figure 4: Légende d'importance	12

Liste des tableaux

Tableau 1: Analyse des solutions de conception préliminaires	5
Tableau 2: Matrice décisionnelle.....	13

1. Introduction

Dans le cadre du projet de conception pour le cours GNG 1503, il a été mandaté de concevoir un dispositif capable de déterminer le classement des voitures lors d'une course de voitures télécommandées en comptabilisant le nombre de tours effectués ainsi que le temps par tours grâce à un chronomètre. Précédemment, lors du livrable B, les besoins des utilisateurs ont été identifiés et analysés à partir de la première rencontre avec le client, mettant en évidence la nécessité de développer un dispositif simple et efficace capable de détecter le nombre de tours des voitures et de les classer. Le livrable C a joué un rôle crucial en traduisant ces besoins en critères de conception précis, mettant l'accent sur les besoins fonctionnels et non-fonctionnels ainsi que les contraintes. Le livrable D constitue désormais une étape clé dans l'élaboration de la solution. Plusieurs concepts préliminaires seront explorés en générant trois sous-systèmes fonctionnels interchangeables, chacun proposé par un membre de l'équipe. Ces concepts seront ensuite évalués à l'aide d'une matrice décisionnelle afin d'identifier la solution la plus appropriée et efficace pour répondre aux attentes du client.

2. Résumé de nos critères de conception

Les critères de conception du projet imposé ont été définis en tenant compte des exigences du client répartis en trois catégories : les exigences fonctionnelles, les contraintes et les exigences non-fonctionnelles.

Les exigences fonctionnelles incluent

- La précision du comptage des tours (=10 tours),
- La fiabilité du dispositif et de l'application qui affiche les résultats,
- La visibilité du texte affiché (police et taille),
- La précision du chronométrage par tours et total à +/- 1 seconde, et
- La compacité du système.

Par ailleurs, la seule contrainte située dans nos critères est le budget de 100\$. Enfin, les exigences non-fonctionnelles identifiées pour ce projet sont l'esthétique, la durée de vie, l'autonomie et la facilité de l'installation. Ces critères sont essentiels car ils guident dans la recherche pour trouver la solution optimisée afin de répondre aux attentes du client et des utilisateurs.

3. Problème de conception

À l'aide des informations recueillies au cours de la rencontre Client 1 et des précédentes étapes de la pensée conceptuelle effectuées, l'énoncé du problème de conception identifié est le suivant :

“Concevoir un système de suivi fiable et simple d'utilisation capable de détecter les positions et de suivre le temps des voitures afin de déterminer un gagnant, tout en offrant une interface claire et intuitive”.

4. Solutions de conception préliminaire

Dans le but de résoudre le problème de conception, la technique du remue-méninge a été employée afin de générer de nombreuses idées créatives et innovantes. Une liste de tous les concepts de sous-systèmes proposés a ensuite été dressée par chaque membre de l'équipe :

Membre d'équipe: Jean-Marie Eudes Ehounou

Sous-système 1: Décompte des tours effectués par les voitures à partir d'un microcontrôleur

Utilisation d'un microcontrôleur (comme un Arduino ou un TSOP38238) pour traiter le signal du capteur et effectuer le décompte. Il sera programmé pour incrémenter un compteur chaque fois que la caractéristique ciblée est détectée, sachant que Ce compteur peut être affiché, stocké ou transmis à un autre dispositif.

Sous-système 2: Système d'affichage de données

Le décompte des tours et du temps, et les noms peuvent être affichés sur un écran (LCD, OLED, etc.) ou envoyé à un ordinateur, une tablette, ou un serveur via une communication série, Wi-Fi, Bluetooth. De plus cet affichage permettra aux participants, aux arbitres et aux spectateurs de connaître les détails de la course en direct.

Sous-système 3: Système de détection optimal: LED infrarouge

Il permettra de déterminer de façon spécifique une caractéristique de la voiture. L'utilisation d'un capteur qui émet de la lumière infrarouge et détecte la réflexion de cette lumière sur un objet. Il se compose généralement de deux éléments

Émetteur IR : Une LED infrarouge qui émet de la lumière invisible à l'œil nu.

Récepteur IR : Un phototransistor ou une photodiode qui détecte la lumière réfléchie.

Lorsqu'un objet est présent, la lumière infrarouge est réfléchie vers le récepteur, ce qui génère un signal électrique. Ce signal peut être utilisé pour déterminer la présence ou l'absence de l'objet.

Membre d'équipe: Samuel Caiado

Sous-système 1: Marqueurs **implémentés sur les voitures**;

Chaque voiture porte un petit drapeau coloré (rouge, bleu, vert, jaune) fixé à l'arrière, ou une étiquette avec un motif imprimé. La couleur sera vibrante et facile à détecter.

Sous-système 2: Caméra qui détecte Logitech C27;

Une caméra USB de base (30-50 \$) ou une webcam standard fixée en hauteur a la ligne d'arrivée pour capturer une vue aérienne de la piste et détecter les couleurs qui passe a travers. La caméra Logitech C270 (résolution 720p, environ 30 \$) est un bon exemple d'une caméra qui satisfait les critères de cette fonctionnalité.

Sous-système 3: Suivi visuel et **codage**;

Utilisation d'un logiciel de vision par ordinateur open-source comme OpenCV. Le logiciel détecte et suit les marqueurs en fonction des couleurs ou des motifs. Un point de référence placé a la ligne d'arrivée (comme une ligne blanche sur la piste) est utilisé pour compter les tours. Qui ensuite envoi le résultat à un fichier qui est ensuite introduit au code C en utilisant Code Blocks pour crée un Tableau qui affiche les résultats.

Membre d'équipe : Chrispin Niyomukiza

Sous-système 1: Comptage des Tours (Émetteur-Récepteur Infrarouge Omron EE-SX670 - Capteur optique à fente).

L'émetteur projette un rayon infrarouge vers un récepteur placé sur le circuit. À chaque passage de la voiture dans la zone de détection, le récepteur enregistre son passage et incrémente son compteur de tours.

Sous -système 2: Classement (Capteur de Couleur TCS34725)

Grâce au capteur TCS34725, positionné stratégiquement, le système détecte la couleur présente sur la carrosserie de chaque voiture et traite ces données en temps réel afin de déterminer l'ordre de passage et établir le classement des véhicules.

Sous-Système 3: Affichage et de Gestion des Résultats

Ce sous-système assure un affichage clair pour une lisibilité optimale et une gestion efficace des résultats grâce à un écran TFT LCD 7 avec HDMI qui peut être contrôlé par un microprocesseur Arduino via les broches GPIO pour les interactions simples. Il permet ainsi de visualiser le classement des voitures, le nombre de tours effectués et le temps de course de chaque véhicule.

Membre d'équipe: Aissatou Diallo

Sous-système 1: Capteurs

- Identification du temps et du nombre de tours
L'utilisation du capteur **HC-SR04** assure un comptage de tours et une mesure de temps précis des courses télécommandées. En effet, il peut être placé à des points stratégiques sur le circuit. Ainsi, à chaque fois qu'une voiture passe devant un capteur, celui-ci mesurera la distance et détectera le passage de la voiture en détectant une chute soudaine de la distance

mesurée. Il peut également faire un suivi en temps réel. Chaque passage de voiture peut être horodaté pour mesurer le temps exact de chaque tour.

- **Module RTC (Real Time clock)**

Le module RTC permet de garder une trace précise de l'heure et des dates, ce qui est essentiel pour enregistrer les temps de passage des objets détectés par le capteur HC-SR04

Sous-système 2: Identification des voitures au sein de la course

Pour assurer l'identification des différentes voitures au sein de la course, une caméra pixye peut être utilisée. Celle-ci est un dispositif de vision compact et puissant la reconnaissance des objets. Probabilité une signature unique à chaque objet éliminant ainsi toute probabilité d'erreur.

Sous-système 3: Écran d'affichage et microcontrôleur

Un écran QLED peut être utilisé pour assurer l'affichage du nombre de tours par voiture, du temps effectué par tour ainsi que la classification des voitures au sein de la course. En effet, les écrans QLED (Quantum Dot LED) utilisent la technologie des points quantiques pour améliorer la gamme de couleurs et la luminosité des écrans à rétroéclairage LED traditionnels.

Le microcontrôleur Arduino Méga sera le microcontrôleur utilisé en combinaison avec le capteur HC-SR04. Il enverra les données reçues des capteurs et grâce à un programme implémenté, affichera les valeurs de temps, nombre de tours et la classification des voitures dans la course.

Membre d'équipe: Daan Vingerder

Sous-système 1: Capteur infrarouge TSOP38xxx

Le capteur TSOP38xxx détecte les signaux infrarouges modulés émis par l'émetteur. Il est utilisé pour compter les passages des voitures téléguidées sur la piste en détectant leur présence lorsqu'elles coupent le faisceau infrarouge. Il est placé en bordure de piste.

Sous-système 2: Capteur luminaireux pour reconnaissance des couleurs

Le capteur luminaireux détecte les couleurs des stickers réfléchissants placés sur les voitures. Cela permet d'identifier chaque voiture sur la piste. Il est placé à une hauteur adaptée pour cibler la zone où les stickers sont apposés.

Sous-système 3: Arduino

L'Arduino reçoit les signaux des deux capteurs, interprète les données et les transmet au système de comptage. Il agit comme le cerveau du projet, effectuant les calculs nécessaires pour afficher les tours réalisés par chaque voiture.

Membre d'équipe : Cheikh Ahmeth Tidiane Kebe

Sous-système1: Système de Boucles Magnétiques

Des boucles magnétiques (câbles enfouis sous la piste) sont installées à des points stratégiques du circuit, notamment à la ligne de départ et éventuellement à d'autres endroits clés (pour les temps intermédiaires). Chaque fois qu'une voiture passe au-dessus d'une boucle, elle perturbe le champ magnétique, ce qui génère un signal détecté par le système central. Le système enregistre l'heure exacte du passage et identifie la voiture en fonction de l'ordre de passage (si plusieurs boucles sont utilisées).

Sous-système2: Vision par Ordinateur

Des caméras haute résolution sont installées à des points clés du circuit (ligne de départ/arrivée, virages, etc.). Un logiciel de vision par ordinateur analyse les flux vidéo en temps réel pour détecter, identifier chaque voiture grâce à des marquages visuels (numéros, couleurs, logos) et enregistrer l'heure exacte de chaque passage.

Sous-système3: Système GPS Haute Précision

Chaque voiture est équipée d'un module GPS haute précision. Le module envoie la position de la voiture en temps réel à un système central. Le système calcule le nombre de tours et les temps en fonction des coordonnées GPS.

5. Analyse des solutions de conception préliminaire

À la suite du processus de remue-méninge, l'analyse des sous-systèmes a été entamé en énumérant les avantages et les inconvénients pour chaque concept.

Tableau 1: Analyse des solutions de conception préliminaires

Sous-Systèmes	Avantages	Inconvénients
Capteur HC-SR04	<ul style="list-style-type: none">- Ce capteur offre une mesure de distance précise et est adapté à de nombreux projets- Les mesures peuvent aller de 2 à 4m- Facile à utiliser et ceci avec plusieurs capteurs	<ul style="list-style-type: none">- La température environnante peut impacter la précision des mesures- Les interférences sonores provenant d'autres sources- La taille des objets peut également avoir un impact sur les résultats

Caméra Pixye	<ul style="list-style-type: none"> - Utilisation polyvalente - Facilité d'intégration avec la plupart des microcontrôleurs - Libération du microcontrôleur grâce à un traitement d'images ainsi que la transmission d'informations uniquement pertinentes 	<ul style="list-style-type: none"> - Qualité d'image limitée - Portée de detection limitée - Nécessite une source d'alimentation constante - Complexité d'installation pour obtenir des résultats optimaux
Ecran QLED	<ul style="list-style-type: none"> - Obtention d'images de qualité supérieure - Les écrans QLED peuvent atteindre une luminosité élevée - Les écrans QLED sont durables 	<ul style="list-style-type: none"> - Coût élevé - Complexité de fabrication due à la qualité d'images fournie
Arduino Mega	<ul style="list-style-type: none"> - Facilité de connexion à plusieurs composants grâce à la multitude de broches - Facilité d'utilisation 	<ul style="list-style-type: none"> - L'Arduino Méga présente une puissance de traitement limitée
Utilisation d'un microcontrôleur (TSOP 38238) pour le décompte des tours	<ul style="list-style-type: none"> -Facile à programmer -Coût abordable -Versatilité 	<ul style="list-style-type: none"> -Peu résistant -Difficulté d'utilisation pour les non-familiarisés
Affichage de données sur un Écran LCD	<ul style="list-style-type: none"> - Faible encombrement (Design fin et léger) -Facilité d'installation - Faible consommation d'énergie 	<ul style="list-style-type: none"> -Quantité limitée - Fragilité -Contraste limité

Capteurs de détection à LED infrarouge	<ul style="list-style-type: none"> - Fiabilité et Stabilité (moins sensibles aux interférences lumineuses externes) - Performance dans l'obscurité -Facilité d'installation et de déplacement 	<ul style="list-style-type: none"> - Portée limitée dans certaines conditions (Obstacles physiques et Conditions météorologiques) -sensibilité a la matière réfléchissante
Comptage des Tours (Émetteur-Récepteur Infrarouge Omron EE-SX670 - Capteur optique à fente).	<ul style="list-style-type: none"> - Fiable et précis - Faible coût - Facile à intégrer 	<ul style="list-style-type: none"> - Sensibilité à l'alignement - Risque d'interférences - Impossibilité de différencier les voitures
Classement (Capteur de Couleur TCS34725)	<ul style="list-style-type: none"> - identification simple des voitures sans une électronique embarquée - Simplicité et durabilité - Adaptabilité 	<ul style="list-style-type: none"> - Sensibilité aux conditions de lumière - Possibilité d'erreurs avec des couleurs similaires - Dépendance à un bon placement du capteur
Affichage et de Gestion des Résultats sur un écran TFT LCD 7	<ul style="list-style-type: none"> - facile à lire et comprendre - Automatisation des résultats 	<ul style="list-style-type: none"> - Besoin d'une interface bien conçue - Latence possible

Capteur infrarouge TSOP38xxx	<ul style="list-style-type: none"> - Détection fiable des passages des voitures. - Insensible à la lumière ambiante si bien configuré. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sensible aux interférences infrarouges d'autres sources. - Portée limitée si mal placé
Capteur lumineux pour reconnaissance des couleurs	<ul style="list-style-type: none"> - Identification des voitures selon des couleurs distinctes. - Facilité d'ajout de stickers colorés sur les voitures 	<ul style="list-style-type: none"> - Sensible aux variations de luminosité ambiante. - Nécessite un bon alignement pour détecter les couleurs correctement.
Arduino	<ul style="list-style-type: none"> - Traitement rapide et efficace des signaux reçus. -Flexibilité pour des modifications et évolution du système 	<ul style="list-style-type: none"> - Capacité de traitement limitée pour des systèmes complexes. -peut nécessiter une optimisation du code pour de meilleur performances
Système de Boucles Magnétiques	<ul style="list-style-type: none"> -Fonctionne dans presque toutes les conditions météorologiques. -Détection précise à la milliseconde près. -Coût modéré 	<ul style="list-style-type: none"> -Installation invasive - Difficulté à mettre en œuvre sur des circuits temporaires ou urbains - Pas d'identification individuelle

Vision par Ordinateur	<ul style="list-style-type: none"> - Non invasive - Flexibilité - Visibilité en temps réel 	<ul style="list-style-type: none"> - Sensibilité aux conditions météorologiques - Nécessite un logiciel puissant pour une détection précise à haute vitesse
Système GPS Haute Précision	<ul style="list-style-type: none"> - Précision - Peut fournir des informations sur la vitesse, l'accélération et la trajectoire. - Fonctionne indépendamment des autres systèmes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Coût élevé - Nécessite une connexion stable pour transmettre les données en temps réel.
Logitech C27	<ul style="list-style-type: none"> - Abordable, - Facile à implémenter 	<ul style="list-style-type: none"> - Sensibilité a certain éclairage - Fiabilité limitée - Précision et limitations,
OpenCV/CodeBlocks	<ul style="list-style-type: none"> - Gratuit - Très fiable - Expérience - Personnalisation et flexibilité. 	<ul style="list-style-type: none"> - Temps a intégrer - Configuration technique

6. Systèmes fonctionnels

À la suite de l'analyse des avantages et des inconvénients de nos sous-systèmes, trois systèmes fonctionnels ont été créés.

Système fonctionnel 1: Identification grâce à l'utilisation de la caméra pixye

Le capteur HC-SR04 détecte le passage des voitures en mesurant des changements brusques de distance, la caméra Pixy2 quant à elle identifie les voitures grâce à la reconnaissance de couleur ou de marqueurs. Le module RTC fournit l'heure exacte de chaque passage, enregistrée par l'Arduino Méga. L'Arduino par la suite traite ces informations et affiche les résultats, comme le numéro de voiture et le temps de passage, sur l'écran QLED. Ce système assure une détection précise, une identification fiable et un affichage en temps réel des résultats de la course de voitures télécommandées.

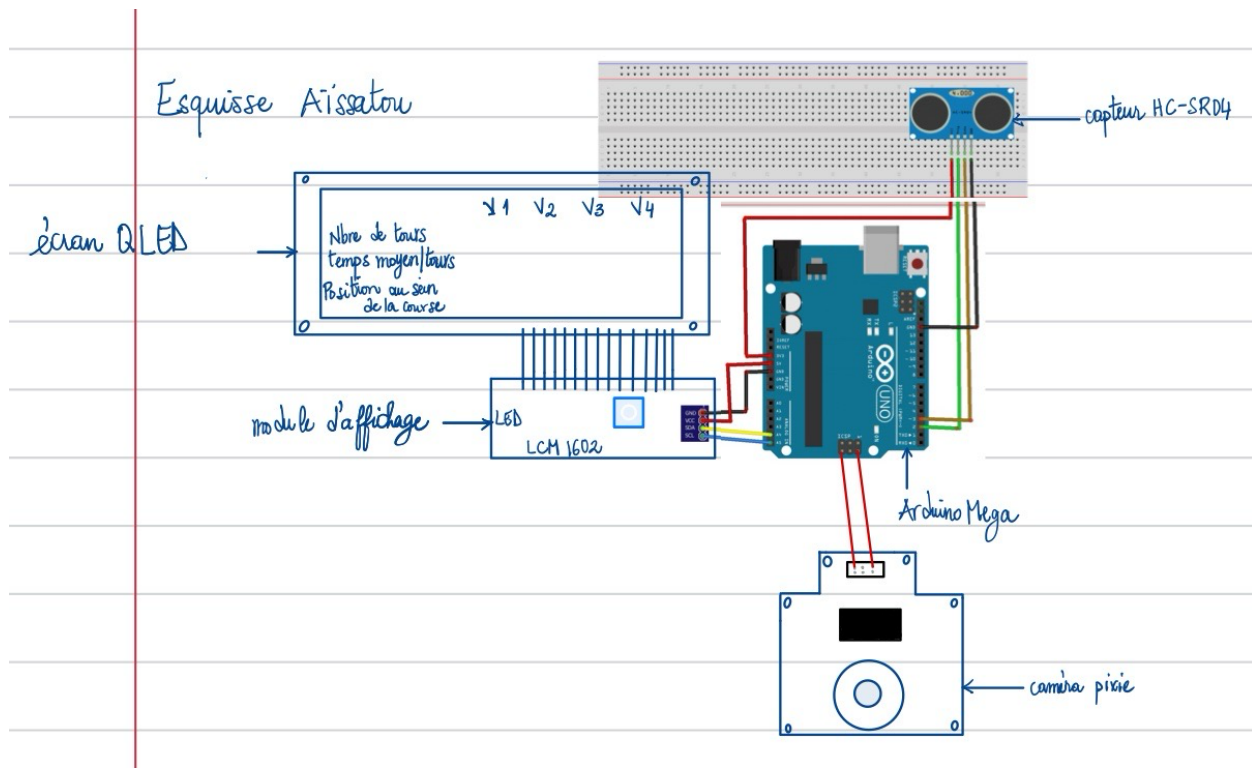


Figure 1: Esquisse du système fonctionnel 1

Système fonctionnel 2: Système de détection par infrarouge (Adafruit) Et Arduino/logiciel

Le système de détection par infrarouge s'appuie sur une architecture combinant plusieurs composants électroniques. Un capteur infrarouge Adafruit, positionné sur la ligne d'arrivée, détecte le passage des véhicules en émettant un signal vers le microcontrôleur Arduino lorsque le faisceau est interrompu. L'Arduino, programmé en langage C, traite les données reçues en temps réel. Le code analyse les signaux pour calculer le nombre de tours effectués et les temps de passage, qui sont ensuite affichés sur un écran externe. Le système intègre également une identification précise des véhicules : des marqueurs lumineux, fixés sur le toit de chaque voiture, sont détectés par un capteur spécialisé. À chaque passage, l'Arduino identifie le véhicule grâce à sa signature lumineuse unique, établit le classement, puis actualise l'affichage des résultats sur l'écran.

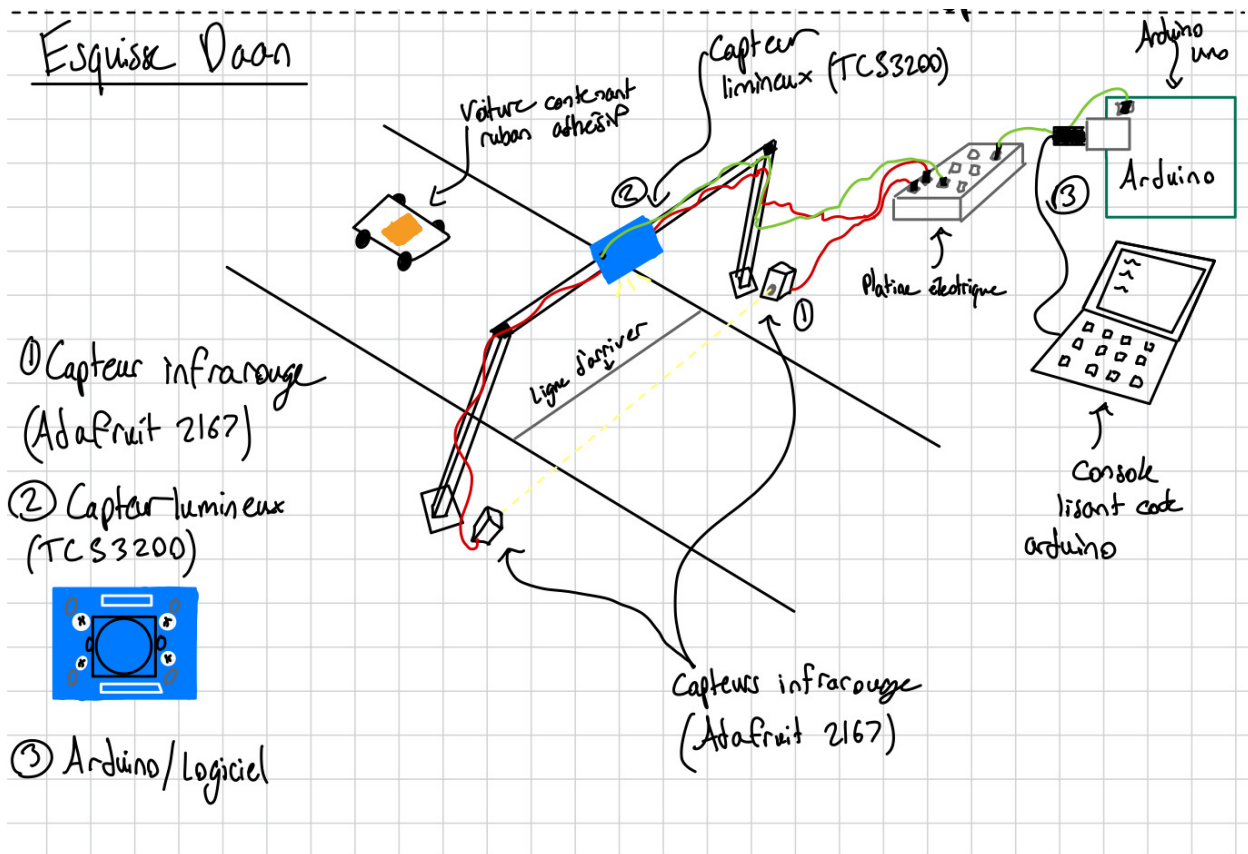


Figure 2: Esquisse du système fonctionnel 2

Système fonctionnel 3: Système de détection par camera (Logitech) avec interface et Logiciel (Code blocks)

Ce système de suivi de course repose sur trois sous-systèmes interconnectés. Tout d'abord, chaque voiture est équipée d'un marqueur distinctif, soit un drapeau coloré (rouge, bleu, vert, jaune) fixé à l'arrière, soit une étiquette à motif imprimé, garantissant une identification claire et facile. Ensuite, une caméra USB, comme la Logitech C270 (720p), est positionnée en hauteur à la ligne d'arrivée pour capturer une vue aérienne de la piste et détecter les couleurs des marqueurs lorsqu'ils franchissent la ligne. Enfin, un logiciel de vision par ordinateur, basé sur OpenCV, analyse le flux vidéo en temps réel, identifie les couleurs ou motifs, et suit chaque voiture. Une ligne blanche sert de point de référence pour comptabiliser les tours effectués par chaque véhicule. Les résultats sont ensuite enregistrés dans un fichier, qui est importé dans un programme en C via CodeBlocks pour afficher un tableau récapitulatif des performances des voitures.

Esquisse Samuel

- ① InterFace visuel
- ② Caméra qui détecte couleur (Logitech C270)
- ③ Logiciel (OpenCV et Code Blocks)

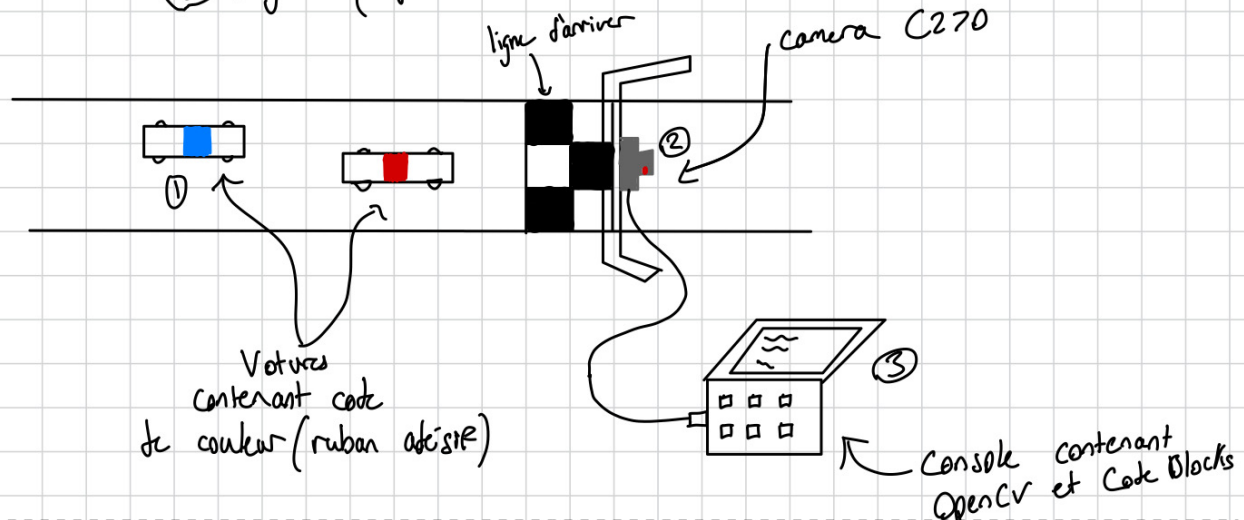


Figure 3: Esquisse du système fonctionnel 3

7. Analyse des Systèmes fonctionnels

Par suite de l'identification des systèmes fonctionnels, l'étape suivante consiste à utiliser une matrice décisionnelle pour sélectionner la solution la plus adaptée au problème de conception.:

Échelle de 1 à 3:

3 = fort (vert)

2 = moyen (jaune)

1 = faible (rouge)

Légende d'importance

5 – Critique

4 – Très désirable

3 – Bien mais n'est pas nécessaire

2 – Pas important

1 – Indésirable

Figure 4: Légende d'importance

Tableau 2: Matrice décisionnelle

Critères de conception	Importance (Poids)	Système d'identification par camera	Système de détection par infrarouge (Adafruit) Et Arduino/logiciel	Système de détection par camera (Logitech) avec interface et Logiciel (Code blocks)
Coût	4	1	3	2
Compacité	3	3	2	1
Fiabilité	4	3	3	3
Facilité d'installation	5	2	3	1
Précision	2	3	2	1
Total		41	49	40

8. Solution générale

Grâce au processus d'étalonnage, trois solutions ont été déterminées. Le premier système fonctionnel considéré est le capteur infrarouge Adafruit. Celui-ci est un produit fiable qui permet de détecter avec précision le passage des voitures téléguidées grâce à son faisceau infrarouge. C'est aussi un système compact qui s'intègre facilement en bordure de piste sans perturber la course. Le seul inconvénient serait d'être certain que le système reste stable lors des vibrations causées par le passage des véhicules. De plus, ce dernier doit être calibré précisément pour éviter les faux positifs. À part cela, le capteur infrarouge est une solution qui répond parfaitement à notre besoin de comptage des tours.

Par la suite, le deuxième système est le capteur lumineux pour la reconnaissance des couleurs. Cette idée permet d'identifier de manière unique chaque véhicule grâce aux stickers réfléchissants, offrant ainsi un suivi personnalisé. En revanche, ce produit nécessite un positionnement très précis en hauteur pour bien détecter les marqueurs colorés. Ce système est également sensible aux conditions d'éclairage ambiant, ce qui pourrait affecter sa fiabilité dans certaines situations. Ainsi, cette solution correspond aux critères mais nécessite une attention particulière lors de l'installation.

Ensuite, le troisième système est l'Arduino. Celui-ci permet le traitement en temps réel des données et la gestion de l'affichage des résultats. En effet, il coordonne efficacement les informations provenant des différents capteurs pour établir le classement. Ce système pourrait, cependant, nécessiter une programmation complexe pour gérer tous les cas de figure. Cette idée est essentielle car elle centralise toutes les fonctionnalités, mais son efficacité dépend grandement de la qualité du code implémenté. Ce produit est donc indispensable comme cerveau du système global pour assurer le bon fonctionnement de la détection et du chronométrage.

9. Conclusion et recommandations

En conclusion, ce livrable constitue une étape cruciale dans le développement de la conception de la solution consistant à concevoir un dispositif capable de déterminer le classement lors d'une course de voitures télécommandées en comptabilisant le nombre de tours effectués ainsi que le temps. En se basant sur l'étape 3 de la pensée conceptuelle (idéation), qui consiste à générer, analyser et faire un meilleur choix de concepts, une fondation solide basée sur les systèmes fonctionnels du projet a été bâtie. Chaque système choisi a été évalué avec rigueur en se basant sur les différents critères de conception prédéfinis.

A la suite de la prochaine rencontre avec le client, l'objectif est d'affiner le développement du prototype en intégrant les différents systèmes fonctionnels choisis, de tester leur fiabilité, leur simplicité ainsi que leur efficacité en situations réelles. Les principales priorités seront l'assemblage, la programmation du microprocesseur Arduino, ainsi que l'affichage clair et une gestion efficace des résultats.

10. Rérérence

“TSOP38238.” n.d. *DigiKey Electronics*. Accessed February 09, 2025. <https://www.digikey.ca/en/products/detail/vishay-semiconductor-opto-division/TSOP38238/1681362>.

“LCD Display” n.d. *DigiKey Electronics*. Accessed February 09, 2025. <https://www.digikey.ca/en/products/detail/prd-plastics/6201050/241191> <https://opencv.org/about/>

<https://www.logitech.com/en-us/products/webcams/c270-hd-webcam.html?srsId=AfmBOoq4I0oFvpBgOCqc2SgC626qqy4d2bQ6os5EIA-uUToyJGEJ6ZtJ>

<https://www.garmin.com/en-US/p/690726>

<https://mylaps.com/motorsports/timing/x2-system/>

<https://pjreddie.com/darknet/yolo/>

[Interfacing a TCS34725 RGB Color Sensor With Arduino](#)

[79.0066.08.FR-VSS-BROCHURE-20200401.pdf](#)

<https://www.andymark.com/products/pixy2-smart-vision-camera>

https://tutoduino.fr/blog-rtc/#google_vignette

<https://randomnerdtutorials.com/complete-guide-for-ultrasonic-sensor-hc-sr04/>