



**POLYTECHNIQUE  
MONTRÉAL**

UNIVERSITÉ  
D'INGÉNIERIE

## MEC2105 - PROJET INTÉGRATEUR II Groupe-cours n° 1

### **Rapport 2** **Étude détaillée et pré-prototype**

Présenté à  
Djebar Ait Messaoud

Par  
Équipe n° 11

Araujo Domingues, Tania – 1959085  
Arzouni, Adam – 1853886  
Doyle, Tristan – 1957634  
Keita, El Hadj – 1909697  
Rafi, Yassine – 1957623  
Rahmani, Hamza – 1785903

Le 18 novembre 2020  
À Montréal

## Résumé

Le projet en question a pour but de développer un prototype d'un coursier automobile autonome. Il doit effectuer ces actions manière autonome. Il a pour but de répondre aux besoins du client CEM5102 dans son envie de posséder un coursier autonome permettant de palier différents problèmes rencontrés en temps de pandémie tels que : la formation des conducteurs pour conduire un de leurs véhicules, la vitesse des véhicules et les risques de contamination lors des cueillettes/livraisons.

Dans le rapport suivant, le but a été de se baser sur les éléments du rapport précédent et d'améliorer le concept ayant été choisi afin de créer les plans pour la conception du prototype final.

Cette étude a montré que le fait que le concept initial ne possède qu'un compartiment était plus un handicap qu'autre chose. En effet, cela n'optimise pas la masse qui s'avère pourtant être l'un des deux critères ayant le pointage le plus important dans la matrice de décision ayant été effectuée au préalable.

De plus, le dispositif doit pouvoir effectuer tout ces courses de manière autonome et sans endommager le parcours.

Les fonctions principales du prototype seront: déposer une balle de ping pong, récupérer un lego se déplacer et se stationner. Afin de compléter ces tâches, le coursier sera muni d'une cuillère afin de lancer la balle de ping pong, un bâton avec du ruban adhésif pour récupérer le Lego et 4 moteurs branchés à un centre de commande Arduino et un capteur de proximité.

L'amélioration du concept permettant d'arriver à la solution proposée ayant été complétée la prochaine étape consiste donc à construire celui-ci pour qu'il soit opérationnel pour le jour de la compétition.

Mots clés : Prototype, robot, transport, design, servomoteur, fabrication, autonomie, coursier.

## Table des matières

Liste des tableaux .....	v
Liste des figures .....	vi
Introduction .....	1
<b>1. Présentation de la solution .....</b>	<b>3</b>
1.1 Description de la solution .....	3
1.2 Fonctionnement de la solution .....	5
1.3 Étapes d'installation de la solution .....	5
<b>2. Essais du pré-prototype .....</b>	<b>6</b>
2.1 Objectifs des essais du pré-prototype .....	6
2.2 Procédures des essais du pré-prototype .....	7
2.3 Résultats des essais.....	7
2.4 Commentaires sur les essais et modifications.....	8
2.5 Calcul de la performance obtenue (formule P).....	9
<b>3. Analyse de la solution finale.....</b>	<b>10</b>
3.1 Retour sur l'analyse préliminaire et la matrice.....	10
3.2 Caractérisation et dimensionnement des pièces.....	11
3.2.1 Choix des matériaux pour les pièces fabriquées .....	11
3.2.2 Calculs de résistance et de déformation de matériaux .....	12
3.2.3 Sélection des pièces achetées.....	15
3.2.4 Dimensionnement fonctionnel .....	16
3.3 Revue de design .....	17
3.4 Calcul de la performance de la solution finale (formule P) .....	19
<b>4. Présentation des dessins .....</b>	<b>20</b>
4.1 Liste des dessins.....	20
4.2 Dessins d'assemblage et de sous assemblage .....	21
4.3 Dessins de définition.....	25

4.4	Méthodes de fabrication.....	28
4.5	Justification des assemblages .....	29
4.6	Séquence d'assemblage .....	30
<b>5.</b>	<b>Impact sur la société et l'environnement .....</b>	<b>33</b>
	<b>Conclusion .....</b>	<b>35</b>
	<b>ANNEXE A – Analyse des risques.....</b>	<b>36</b>
	<b>ANNEXE B – Approximation du temps de fonctionnement .....</b>	<b>38</b>
	<b>ANNEXE C – Calcul d'utilisation d'énergie .....</b>	<b>39</b>
	<b>ANNEXE D – Nomenclature – Bill Of Material (BOM) .....</b>	<b>40</b>

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Essais de déplacement sur deux mètres de sol plat avec des masses variables .....	8
Tableau 2 : Essais de déplacement sur 1.2 mètres avec dix degrés d'inclinaison.....	8
Tableau 3 : Temps de changement de direction (90 degrés) .....	8
Tableau 4 : Résultats projetés du pré-prototype .....	10
Tableau 5 : Contraintes maximales pour une force de 10.6 Newtons .....	14
Tableau 6 : Facteur de sécurité .....	14
Tableau 7 : Données utilisées .....	14
Tableau 8 : Flèche au point critique .....	14
Tableau 9 : Dimensionnement fonctionnel pour une chaîne de côte.....	17
Tableau 10 : Résultats projetés du prototype .....	19

## Liste des figures

Figure 1 : Modélisation du concept sur CATIA (Vue isométrique) .....	4
Figure 2 : Modélisation du concept sur CATIA (Vue de derrière).....	4
Figure 3 : DCL pour le châssis .....	12
Figure 4 : Équations pour les calculs de contraintes maximales .....	13
Figure 5 : Dimensionnement fonctionnel.....	16
Figure 6 : Dessin d'assemblage général (A) .....	21
Figure 7 : Dessin du sous-ensemble B - Châssis (B) .....	22
Figure 8 : Dessin du sous-ensemble C - Plaque à l'étage supérieur (C).....	23
Figure 9 : Dessin du sous-ensemble D - Servomoteur et cuillère.....	24
Figure 10 : Dessin de définition de la pièce 010.....	25
Figure 11 : Dessin de définition de la pièce 012.....	26
Figure 12 : Dessin de définition de la pièce 013.....	27
Figure 13 : Méthodes d'usinage pour différentes pièces.....	28
Figure 14 : Support du moteur .....	30
Figure 15 : Assemblage du moteur au châssis.....	31
Figure 16 : Boitier pour les batteries .....	31
Figure 17 : Arduino Uno .....	31
Figure 18 : Barres de support pour soutenir la plaque de plastique.....	32
Figure 19 : Vissage de la plaque de plastique sur les barres de support .....	32
Figure 20 : Impacts environnementaux associés à chaque phase du cycle de vie d'un produit.....	33
Figure 21 : Impacts environnementaux associés à chaque phase du cycle de vie d'un produit (suite) .....	34
Figure 22 : Analyse des risques et défaillances .....	36
Figure 23 : Analyse des risques et défaillances (suite) .....	37
Figure 24 : Calculs d'énergie .....	39
Figure 25 : BOM de l'assemblage général .....	40
Figure 26 : BOM du sous-ensemble B .....	41
Figure 27 : BOM du sous-ensemble C.....	42
Figure 28 : BOM du sous-ensemble D .....	43

## Introduction

Le projet en question a pour but de développer un prototype d'un coursier automobile autonome. Il doit effectuer ces actions manière autonome. Il a pour but de répondre aux besoins du client CEM5102 dans son envie de posséder un coursier autonome permettant de palier différents problèmes rencontrés en temps de pandémie tels que : la formation des conducteurs pour conduire un de leurs véhicules, la vitesse des véhicules et les risques de contamination lors des cueillettes/livraisons.

Le but du présent rapport est d'améliorer le concept choisi en peaufinant ce dernier (design, performance) tout en respectant les contraintes et spécifications (règlements et procédures). Les étapes de fabrication du prototype ainsi que les tests effectués sur ce dernier se trouvent également dans ce rapport tout comme les dessins de fabrication ainsi que la nomenclature. En somme, une étude détaillée a été faite afin de pouvoir concevoir un pré-prototype et d'en faire les tests nécessaires pour pouvoir développer une solution finale fonctionnelle et qui répond aux exigences.

Le présent rapport contient donc :

1. Présentation de la solution
2. Essais du pré-prototype
3. Analyse de la solution finale
4. Présentation des dessins
5. Nomenclature-BOM
6. Impact sur la société et l'environnement

L'Annexe A contient l'analyse des risques ainsi que les mesures d'atténuation de ceux-ci, l'annexe B contient une démarche afin d'approximer le temps de fonctionnement, l'annexe C contient des calculs théoriques énergétiques et les commentaires sur l'utilisation réelle d'énergie et l'annexe D contient le BOM.





## 1. Présentation de la solution

### 1.1 Description de la solution

Le concept final est composé de trois grands sous-ensembles, regroupés dans le dessin d'assemblage générale (assemblage A). Le premier sous ensemble est l'assemblage B, soit le châssis, qui est composé de six pièces : les piles (pièce 4, figure 2), les moteurs (pièce 2, figure 2), les goupilles (pièce 3, figure 2), les roues (pièce 1, figure 1), le châssis (pièce 5, figure 1) et l'Arduino (pièce 7, figure 2). Les moteurs, fixés sur les roues à l'aide de goupilles cylindriques, se trouveront sous le châssis, donc dans la partie inférieure du coursier mobile. L'Arduino se trouvera sur le châssis.

Le sous-ensemble C, soit la plaque à l'étage supérieur, est constitué de cinq éléments : la plaque en plastique (pièce 9, figure 1), le compartiment en aluminium pour les cannes de thon (pièce 10, figure 1), le servomoteur (pièce 11, figure 1), la cuillère en carton (pièce 12, figure 1) et la composante de récupération du LEGO en carton (pièce 13, figure 1). Le sous-ensemble C se trouvera au-dessus du sous-ensemble B et il sera supporté par des barres métalliques appuyées sur le châssis.

Le sous-ensemble D est composé de l'assemblage du servomoteur (pièce 11, figure 1) et de la cuillère (pièce 12, figure 1). Cette dernière sera faite en carton et sera collée sur l'hélice du servomoteur qui lui permettra de lancer la balle de ping-pong. Ainsi, le servomoteur sera fixé sur la plaque en plastique.

Finalement, l'élément le plus éloigné du sol est le sous-ensemble D, suivi du sous-ensemble C et finalement du sous-ensemble B. La nomenclature BOM se retrouve en annexe (voir Annexe D) et une estimation des coûts a été faite pour l'assemblage général ainsi que pour chaque sous-ensemble.

Figure 1 : Modélisation du concept sur CATIA (Vue isométrique)

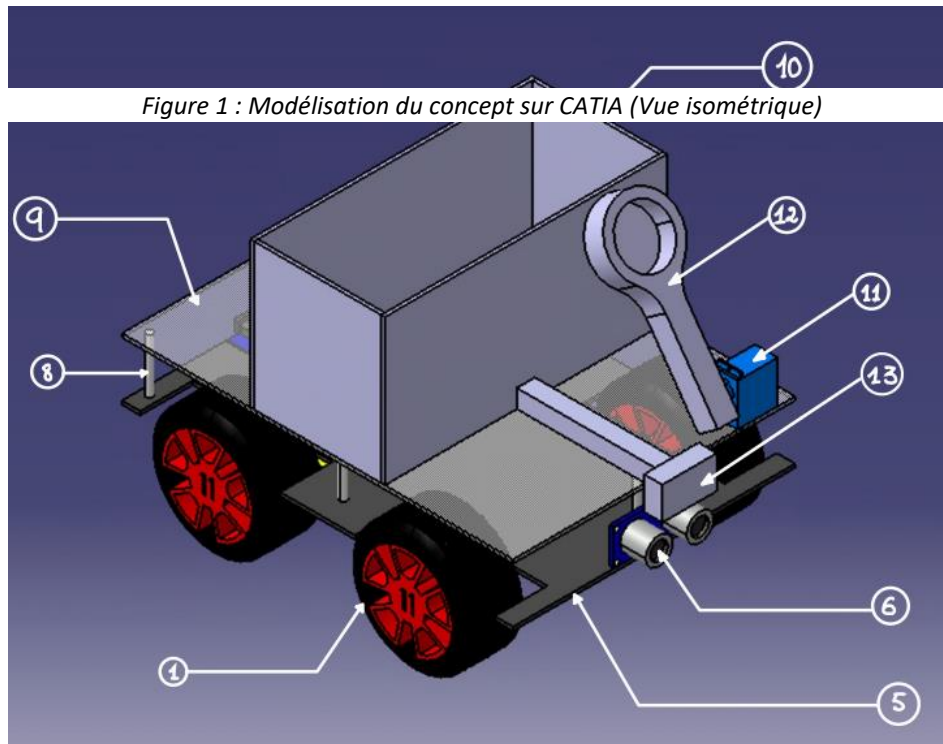
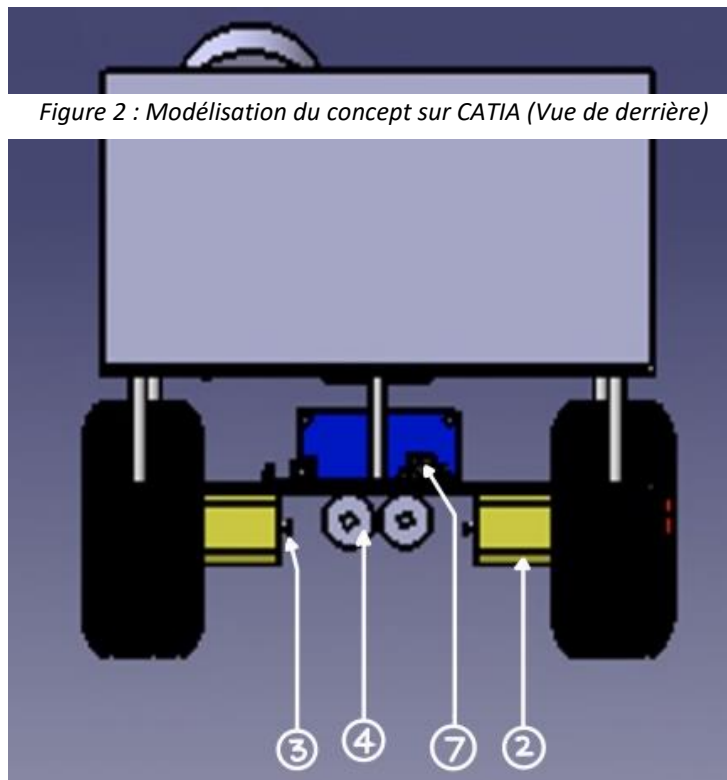


Figure 2 : Modélisation du concept sur CATIA (Vue de derrière)



## 1.2 Fonctionnement de la solution

Le prototype se déplace à l'aide de quatre roues motrices (pièce 1) qui, elles, tournent par le biais de quatre moteurs (pièce 2). Le véhicule est autonome et cela est orchestré par une puce Arduino (pièce 7) et donc un code qui permet de s'adapter aux obstacles de notre piste. Les besoins énergétiques des composantes précédentes sont assurés par des piles AA (pièce 4) qui sont branchées en dessous du châssis (pièce 5). Pendant toute la durée du parcours, les cannes sont transportées dans le compartiment des cannes de thon (pièce 010).

Initialement, la balle de ping-pong est déposée dans le creux de la cuillère (pièce 12). En enclenchant le servomoteur (pièce 11), le mouvement de rotation effectué par les hélices du servomoteur (pièce 11) entraîne en même temps celui de la cuillère (pièce 12) qui projette la balle dans l'aire de dépôt. La composante de récupération du LEGO (pièce 13), comme son nom l'indique, permet de le récupérer depuis l'aire de récupération. La face avant de la composante est revêtue d'une couche collante qui, entrant en contact avec le LEGO, va pouvoir le récupérer.

Pour finir, le véhicule va se garer dans l'aire de stationnement après avoir franchi la pente et, avec l'aide du capteur ultrason, il effectue cette tâche sans entrer en contact avec la structure de stationnement.

## 1.3 Étapes d'installation de la solution

Avant de commencer la compétition, il faudra respecter les étapes suivantes afin d'installer et de mettre en marche le prototype :

1. Déposer le coursier dans la zone de dépôt avec ses roues sur la ligne de fond et les roues de droite sur la ligne. **(10 secondes)**

2. Déposer les cinq (5) cannes de thon dans le coursier (dans la pièce 10). **(15 secondes)**
3. Déposer la balle de ping-pong dans le creux de la cuillère (pièce 12). **(15 secondes)**
4. Initier le parcours avec un ordinateur (code Arduino). **(5 secondes)**

## **2. Essais du pré-prototype**

À cette étape-ci, un pré-prototype a été fait afin de pouvoir faire différents test qui ont permis de valider et de changer certaines composantes du coursier.

### **2.1 Objectifs des essais du pré-prototype**

Les essais du pré-prototype permettront de valider certaines fonctions du coursier. Ainsi, certains test ont été fait afin de pourvoir confirmer ou infirmer certaines hypothèses quant à la puissance requise ainsi que la résistance au chargement du coursier.

Le premier essai est celui de la vitesse à plat qui permettra de valider la capacité du coursier à respecter les limites de temps de la compétition et de transporter la masse des cannes de thon et du bras mécanique.

Le deuxième essai sera celui de la vitesse en pente qui permettra de valider la capacité du coursier à monter la pente pour aller se stationner et de respecter les limites de temps de la compétition.

Finalement, le troisième essai est le changement de direction qui permettra de valider la capacité du coursier à changer de direction afin de respecter le parcours.

## **2.2 Procédures des essais du pré-prototype**

L'essai de vitesse sur plat consistera à chronométrer le temps que le pré-prototype prend afin de parcourir deux mètres en commençant à l'arrêt. Le parcours sera fait avec des charges de 1, 1.2 et 1.4 kilogrammes afin de simuler le poids du bras de levier et des cannes de thon. Le parcours sera fait à trois reprises avec chacune des masses et la moyenne sera considérée afin d'augmenter la fiabilité et la précision des résultats.

L'essai de vitesse en angle consistera à chronométrer le temps que le pré-prototype prend afin de parcourir 0.3 mètres en montant une pente de 10 degrés en commençant à l'arrêt. Le parcours sera fait avec des charges de 1, 1.2 et 1.4 kilogrammes afin de simuler le poids du bras de levier et des cannes de thon. Le parcours sera aussi fait à trois reprises avec chacune des masses et la moyenne sera considéré afin d'augmenter la fiabilité et la précision des résultats.

L'essai de changement de direction consistera à chronométrer le temps que le coursier prend afin de tourner de 90 degrés. L'essai sera fait trois fois afin d'augmenter la précision et la fiabilité des résultats. Le parcours sera fait avec des charges de 1, 1.2 et 1.4 kilogrammes afin de simuler le poids du bras de levier et des cannes de thon.

## **2.3 Résultats des essais**

Cette section présentera les résultats des essais faits sur le pré-prototype.

Tableau 1 : Essais de déplacement sur deux mètres de sol plat avec des masses variables

Essai (1kg)	Temps (s)	Essai (1.2kg)	Temps (s)	Essai (1.4kg)	Temps (s)
1	4.23	1	6.20	1	5.08
2	4.33	2	4.53	2	4.68
3	4.75	3	5.72	3	5.23
Moyenne	4.4	Moyenne	5.5	Moyenne	5.0

Tableau 2 : Essais de déplacement sur 1.2 mètres avec dix degrés d'inclinaison

Essai (1kg)	Temps (s)	Essai (1.2kg)	Temps (s)	Essai (1.4kg)	Temps (s)
1	4.7	1	5.33	1	10
2	4.42	2	6.12	2	10.73
3	5.38	3	6.2	3	11.2
Moyenne	4.8	Moyenne	5.9	Moyenne	10.6

Tableau 3 : Temps de changement de direction (90 degrés)

Essai (1kg)	Temps (s)	Essai (1.2kg)	Temps (s)	Essai (1.4kg)	Temps (s)
1	1.75	1	2.11	1	3.01
2	1.6	2	2.51	2	2.98
3	1.74	3	2.35	3	3.1
Moyenne	1.7	Moyenne	2.3	Moyenne	3.0

## 2.4 Commentaires sur les essais et modifications

Les tests du pré-prototype ont démontré que le prototype peut satisfaire les exigences de la compétition. Le prototype devait effectuer trois tâches différentes avec une masse variant entre 1 et 1.4 kilogramme chargée sur celui-ci afin de simuler la masse des cannes de thon et des dispositifs de récupération et de dépôt de la balle de ping pong et du Lego. Le prototype a bien performé pour le premier test, celui du déplacement de deux mètres sur une surface plate. Les

moyennes de temps variaient entre 4.4 et 5.5 secondes. Pour le test en montée, les temps sont semblables avec 1 et 1.2 kg, mais sont presque le double lors de l'essai avec 1.4 kg. Pour le changement de direction, le temps est aussi nettement plus élevé lors du test avec 1.4kg. Il sera donc une possibilité prometteuse de faire la compétition avec seulement cinq cannes de thon, car ceci permet un grand avantage de vitesse.

Afin d'alléger la structure, les rebords extérieurs de la structure ont été abandonnés et seront remplacés par des compartiments individuels. De plus, une deuxième plaque en plastique transparent a été ajoutée afin d'augmenter l'espace de chargement du coursier. Le placement des cannes de thon sera aussi changé, suite à des résultats expérimentaux afin d'optimiser le centre de gravité du coursier lors de la montée de pente. Par ailleurs, l'utilisation d'un capteur de distance et de fonctions d'attente avec Arduino seront utilisés afin de bien coordonner les manipulations et les déplacements.

## 2.5 Calcul de la performance obtenue (formule P)

À l'aide de la formule de score de compétition (1) et des résultats de l'essai du pré-prototype, un score de compétition a été calculé pour la compétition. Les valeurs sont approximées selon les résultats du pré prototype et les facteurs de risque (Annexe A).

$$P = D + (120 - t_{es}) + O_{rec} + x \cdot O_{dép} + y \cdot S + w \cdot z \cdot [400 \cdot (M_{tran}/M_{prot}) + 150 \cdot E + (240 - t_{ins})] \quad (1)$$

Tableau 4 : Résultats projetés du pré-prototype

D (cm)	114
$t_{es}$ (s)	44
$O_{dép}$	0
$O_{réc}$	0
X	1
y	1
S	350
w	1
z	1.5
$M_{prot}$ (kg)	1.7
$M_{tran}$ (kg)	0.65
E	1
$t_{ins}$ (s)	45
Score calculé	1114
Score arrondi	1000

\*Les cases en jaune n'ont pas été testés pendant la phase de pré-prototypage.

\*Le score a été arrondi à la baisse afin de prendre en compte des imprévus lors de la compétition.

### 3. Analyse de la solution finale

Maintenant que des tests ont été faits au pré-prototype, une solution finale a été développée tout en respectant les conclusions tirées des essais de la section précédente.

#### 3.1 Retour sur l'analyse préliminaire et la matrice

Dans l'analyse préliminaire, les trois meilleurs concepts ont été soumis à différentes fonctions afin de pondérer leur niveau de performance. On remarque entre autres que les 2 critères ayant obtenus les pointages les plus importants sont la masse du prototype ainsi que la simplicité de ces derniers.



Cependant, la récupération de l'objet est la fonction pour laquelle le plus d'idées ont été retenues. En effet, il est question de cinq idées parmi lesquelles on compte un filet, une pelle mécanique et une ventouse.

Après avoir fait des tests sur le pré-prototype, le concept final n'a retenu aucune de ces idées, puisque cela demanderait trop d'énergie. Ainsi, pour la récupération du LEGO, une composante en forme de T avec une de ses extrémités qui sera collante viendra récupérer le LEGO et il sera ainsi transporter tout le long de la compétition. Pour ce qui en est de la balle de ping-pong, une cuillère collée à un servomoteur servira à la lancer dans l'aire de dépôt.

## **3.2 Caractérisation et dimensionnement des pièces**

### **3.2.1 Choix des matériaux pour les pièces fabriquées**

Le procédé de choix des matériaux a été fait en considérant le budget, les besoins du client ainsi que la faisabilité technique des procédés associés aux choix de matériaux. Il a été déterminé que l'aluminium offrait un bon ratio entre la résistance mécanique et le poids en plus d'être facile d'assemblage à l'aide d'un soudeur électrique. Ainsi, l'aluminium est le matériel pour le châssis (pièce achetée). De plus, une plaque de plastique rigide légère a été ajoutée par-dessus celui-ci afin d'augmenter la capacité de chargement du coursier (pièce achetée). Le plastique rigide est léger et offre de bonnes propriétés mécaniques. Afin d'optimiser les dimensions et les choix de matériaux de la plaque (pièce critique), un calcul de résistance des matériaux et de flèche a été fait.

Pour ce qui en est des pièces fabriquées, soit la composante pour la récupération du LEGO, la cuillère et le compartiment pour les cannes de thon, des matériaux ont été choisis. Pour la cuillère et la composante pour la récupération du LEGO, le carton a été choisi puisqu'il sera possible d'utiliser du carton recyclé. Pour ce qui en est du compartiment pour les cannes de thon, les quatre faces qui composeront le compartiment seront faites en aluminium, car c'est un matériaux qui peut être infiniment recyclé lors de sa fin de vie. De plus, il n'est pas très lourd et il a une bonne résistance mécanique.

### 3.2.2 Calculs de résistance et de déformation de matériaux

Figure 3 : DCL pour le châssis

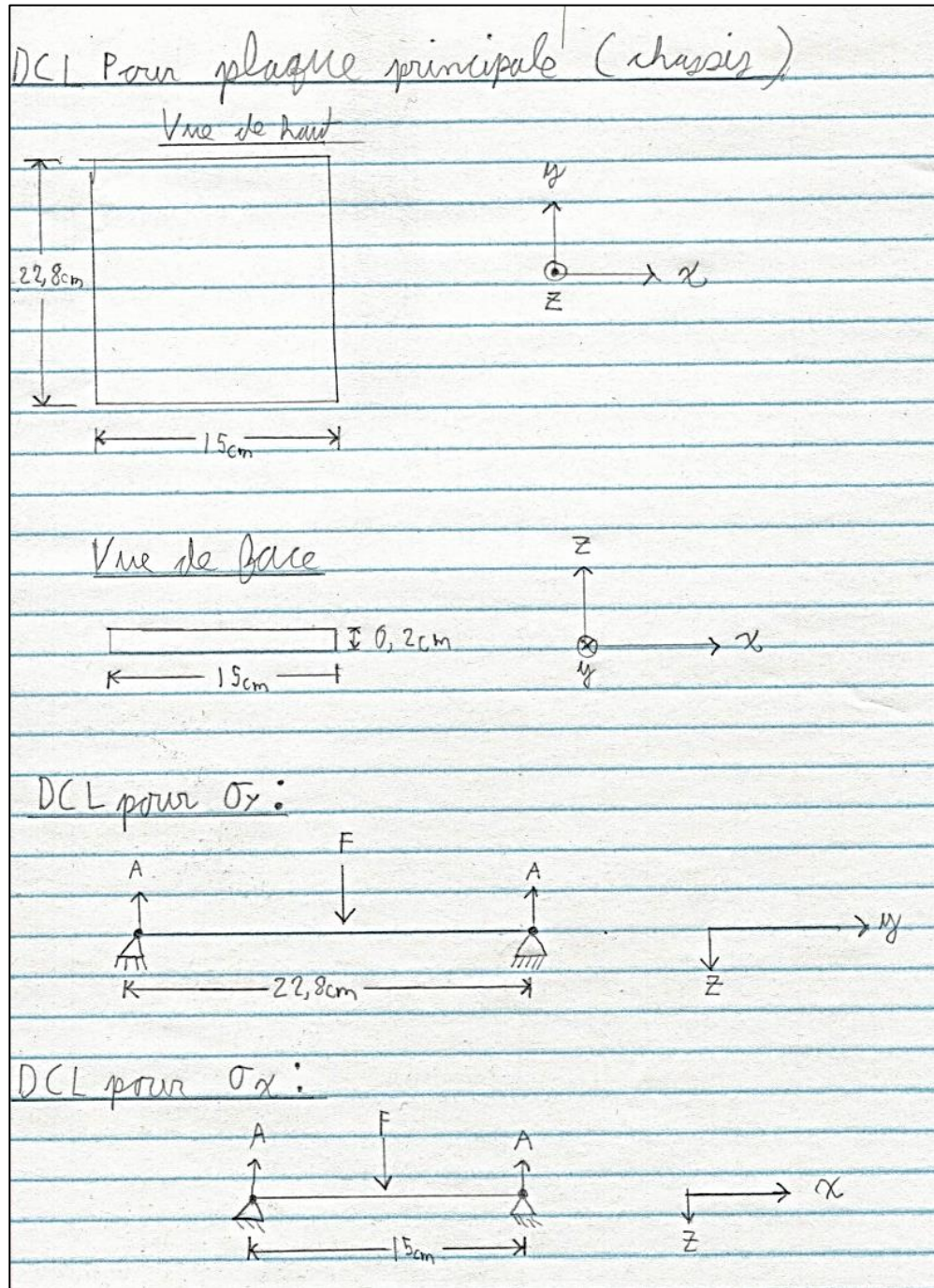


Figure 4 : Équations pour les calculs de contraintes maximales

La contrainte sigma en une dimension est calculée avec la formule suivante :

$$\sigma = \frac{M * c}{I}$$

Tel que :

M : Le moment de flexion

C : La distance entre l'axe neutre et le haut de la membrure

I : Le moment d'inertie  $I = \frac{(bh^3)}{12}$

En faisant l'hypothèse de la torsion est nulle, la contrainte maximale et minimale est calculée avec la formule suivante :

$$\sigma_{max, min} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2}$$

#### **Hypothèses :**

Pour la charge, on fait l'hypothèse d'une charge équivalente aux cannes de thon et au bras mécanique, ponctuelle, directement au milieu de la plaque. Ceci est le pire cas en termes de résistance des matériaux, donc si la structure résiste à ce cas, elle résistera aux autres cas aussi. On pose la masse de la catapulte et du morceau de bois à 300g et celles des cannes de thon à 780g. De plus, on néglige la masse du châssis lui-même.

Le facteur de sécurité est calculé avec la formule suivante :

$$FS = \frac{Sy}{\sigma_{max}}$$

Avec Sy=276 MPa

Tableau 5 : Contraintes maximales pour une force de 10.6 Newtons

En x		En y	
I (m <sup>4</sup> )	1.52E-10	I (m <sup>4</sup> )	1E-10
M (Nm)	0.79	M (Nm)	1.21
c (m)	0.002	c (m)	0.002
$\sigma$ (MPa)	10	$\sigma$ (MPa)	24

\*Voir figure 2 pour les explications des calculs

Tableau 6 : Facteur de sécurité

$\sigma_{\max}$ (MPa)	24
FS	11

\* Voir figure 2 pour les explications des calculs

Ce facteur de sécurité est plus élevé que ce qui est nécessaire. Par contre, il est difficile d'obtenir un matériau plus mince qui aura une résistance acceptable. De plus, en cas de mise en charge rapide (pentes ou bosses dans le parcours), il est important de maintenir un bon facteur de sécurité.

La flèche sera calculée en considérant la fibre ayant la contrainte maximale. L'hypothèse d'une charge uni-axiale équivalente à la charge maximale sera émise. Elle sera orientée selon l'axe avec le « I » minimal et le « L » maximal. La formule utilisée sera :

$$v = \frac{P * L^3}{48 * E * I}$$

Tableau 7 : Données utilisées

P (N)	10.6
L (m)	0.228
E (GPa)	69
I (m <sup>4</sup> )	1E-10

Tableau 8 : Flèche au point critique

v (m)	0.0004
v (mm)	0.4

Ainsi, la contrainte maximale en cas de pire scénario, est de 24 MPa. Ceci permet d'utiliser l'aluminium ou tout autre matériaux ayant une résistance à l'écoulement de 50 MPa ou plus, afin de conserver un facteur de sécurité supérieur ou égal à 2.

### 3.2.3 Sélection des pièces achetées

La pièce importante standard achetée est le moteur électrique 6V, 200mA. La puissance générée par ce moteur est donc de 1,2W. Des calculs dans les études précédentes ont révélé un besoin en puissance minimal de 0,5 W (en négligeant les frottements internes).

Le voltage est le paramètre le plus important lors du choix car on ne dispose d'un maximum de 6 piles AA NimH 1,2V pour un maximum de 7,2 V.

Pour notre choix, on ne peut pas prendre un modèle avec un voltage plus grand que 6V; le prochain voltage le plus disponible dans le marché est 12V qui dépasse largement celui dont on dispose.

Pour les voltages inférieurs, des études expérimentales ont montré que la vitesse du prototype est plus petite, ce qui a pour conséquence une augmentation du temps de parcours. L'objectif visé dans la compétition étant la diminution de ce temps-là.

Pour un chargement maximal visé de 780g, il est judicieux d'assurer une vitesse suffisante pour pouvoir monter la pente sans encombrement.

Ultimement, la disponibilité dans le marché et la rapidité à recevoir le moteur sont deux critères qui ont été pris en compte lors du choix de moteur, surtout en situation de pandémie.



Tableau 9 : Dimensionnement fonctionnel pour une chaîne de côte

Dimension	# Pièce	Description	Valeur (mm)	Incertitude (mm)	Valeur max (mm)	Valeur min (mm)	Cause
A	C-1	PLAQUE	215	1	216	214	Coupe
B	C-1	PLAQUE	70.5	0.5	71	70	Positionnement, colle
C	C-3	PLAQUE COMPARTIMENT POUR CANNE DE THON	70	1	71	69	Coupe à la main, colle
D	C-1	PLAQUE	70.5	0.5	71	70	Positionnement, colle

Une incertitude moyenne de 3.5 mm est obtenue, ce qui permet de mettre les cannes de thon. Il est primordial d'avoir un jeu pour pouvoir mettre les cannes de thon, s'il n'y a pas de jeu entre ces deux plaques on ne pourra pas mettre les cannes de thon. Ainsi,  $J_A$  max est donc de 6 mm et  $J_A$  min est de 1 mm.

### 3.3 Revue de design

Le concept initial du Light ne possédait qu'un seul compartiment en aluminium qui devait accueillir la balle, le lego, le bras mécanique, la puce Arduino, les moteurs, les boîtes de thon, etc. Ce qui n'est pas très optimal ni pour minimiser la masse du prototype ni pour réduire les dimensions hors tout de ce dernier.

Le pré-prototype possède 2 étages. Le premier est un châssis sur lequel reposent les composantes électriques (puce Arduino, branchements, capteur ultrason) qui s'assurent que la fonctionnalité de déplacement soit effectuée de manière autonome. Le deuxième étage est une plaque en plastique transparent qui sert à transporter les cannes de thon, la balle, le bras mécanique et le lego. L'utilisation d'amortisseurs a été délaissée et la fonction de freinage est gérée par les moteurs.

Avec quelques tests faits avec le pré-prototype, quelques ajustements se sont avérés nécessaires : la fonction de transportation a été revue et le prototype final a des compartiments individuels pour les cannes de thon, le LEGO et la balle de ping-pong. L'emplacement des compartiments qui sont sur la plaque en plastique doit prendre en considération la position du centre de gravité du coursier, car elle influence la rapidité lors de la montée de la pente.

À la fin des tests, d'autres changements ont été faits. Les fonctions de récupération et de dépôt étaient assurées par un bras mécanique, mais l'utilisation de celui-ci nécessite une quantité d'énergie beaucoup trop importante pour notre cas. D'autres systèmes ont donc dû être pensés pour remplir ces fonctions-là.

Le prototype final a donc un système de catapulte pour permettre le dépôt de la balle et la récupération du lego se fait maintenant à l'aide d'un de bâton en T avec la surface avant collante. Avec ces dernières modifications, le compartiment de la balle ainsi que celui du LEGO ne seront plus fabriqués, car ils sont désuets et ajouterait une masse inutile.

Afin d'atténuer les risques, chaque phase de conception et chaque étape de la compétition a été prise en compte. La gravité et la probabilité des risques associés à chacun de ces événements a été mise en lumière dans un tableau (Annexe A). Des mesures d'atténuation soit de la sévérité ou de la probabilité des risques ont été mises en place. Effectivement, les risques ayant une gravité plus sévère, ont obtenu des mesures d'atténuation afin de rendre la défaillance des systèmes essentiels très peu probables. D'autre part, un degré de tolérance plus élevé a été attribué aux risques mineurs. La sévérité des risques a été déterminée en prenant en compte l'impact sur le score final de la compétition de chaque problème ainsi que la difficulté de réparer ce problème. La probabilité des risques est basée sur des calculs de résistance des matériaux ainsi que des essais pratiques.



### 3.4 Calcul de la performance de la solution finale (formule P)

Suite aux modifications apportées au pré-prototype, un score approximatif a été calculé pour celui-ci en tenant compte des changements qui seront apportés. Le score est essentiellement inchangé, sauf pour l'ajout des points attribués aux manipulations. Effectivement, une cuillère sera ajoutée au prototype. Considérant les risques de mauvaise synchronisation ou de manipulation raté (voir annexe A – Analyse des risques), il est jugé que le coursier pourra déposer la balle de ping-pong sur la piste, proche de la zone de dépôt et pourra récupérer le LEGO avec succès et le transporter sur la structure principale, ce qui augmente ainsi le score projeté du coursier lors de la compétition. Il est à noter que ce résultat est approximatif et que le score projeté se précisera lors d'essais du prototype. Les valeurs sont approximées selon les résultats du pré-prototype et les facteurs de risque (voir Annexe A – Analyse des risques).

$$P = D + (120 - t_{es}) + O_{rec} + x \cdot O_{dep} + y \cdot S + w \cdot z \cdot [400 \cdot (M_{tran} / M_{prot}) + 150 \cdot E + (240 - t_{ins})]$$

Tableau 10 : Résultats projetés du prototype

D (cm)	114
t <sub>es</sub> (s)	44
O <sub>dep</sub>	120
O <sub>rec</sub>	210
X	1
Y	1
S	350
w	1
z	1.5
M <sub>prot</sub>	1.7
M <sub>tran</sub>	0.65
E	1
t <sub>ins</sub> (s)	45
Score calculé	1444
Score arrondi	1200

\*Le score a été arrondi à la baisse afin de prendre en compte des imprévus lors de la compétition.

## 4. Présentation des dessins

Le chapitre suivant sera composé de tous les dessins d'assemblage de la solution finale et des dessins de définition des pièces qui seront fabriquées.

### 4.1 Liste des dessins

- Dessins d'assemblage et de sous assemblage:
  - A - Assemblage général
  - B - Sous-ensemble B - Châssis
  - C - Sous-ensemble C - Plaque à l'étage supérieur
  - D - Sous-ensemble D - Assemblage du servomoteur et de la cuillère
  
- Dessins de définition :
  - 10 - Pièce 010 - Compartiment pour les cannes de thon
  - 12 - Pièce 012 – Cuillère
  - 13 - Pièce 013 - Composante de récupération du LEGO

## 4.2 Dessins d'assemblage et de sous assemblage

Figure 6 : Dessin d'assemblage général (A)

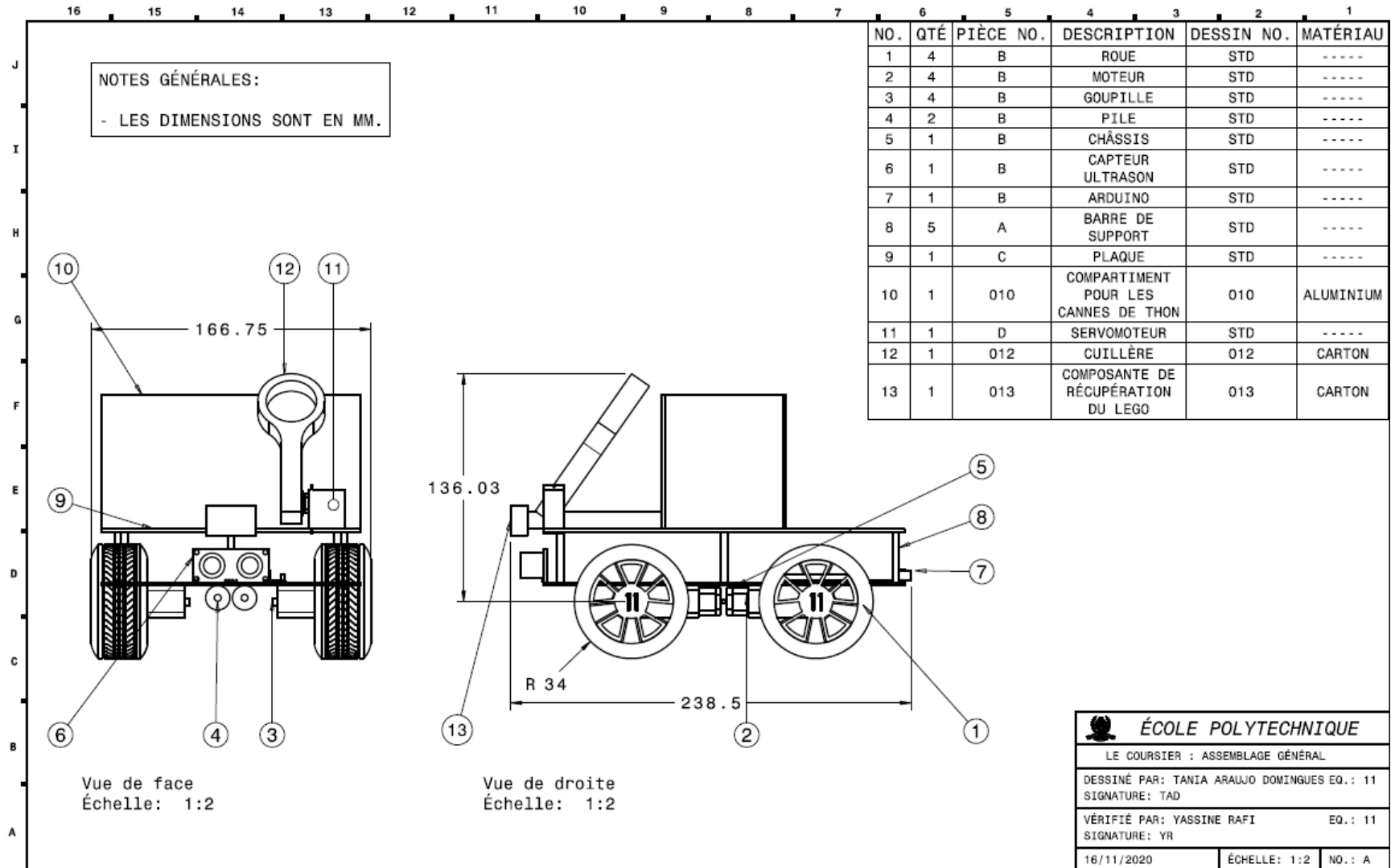


Figure 7 : Dessin du sous-ensemble B - Châssis (B)

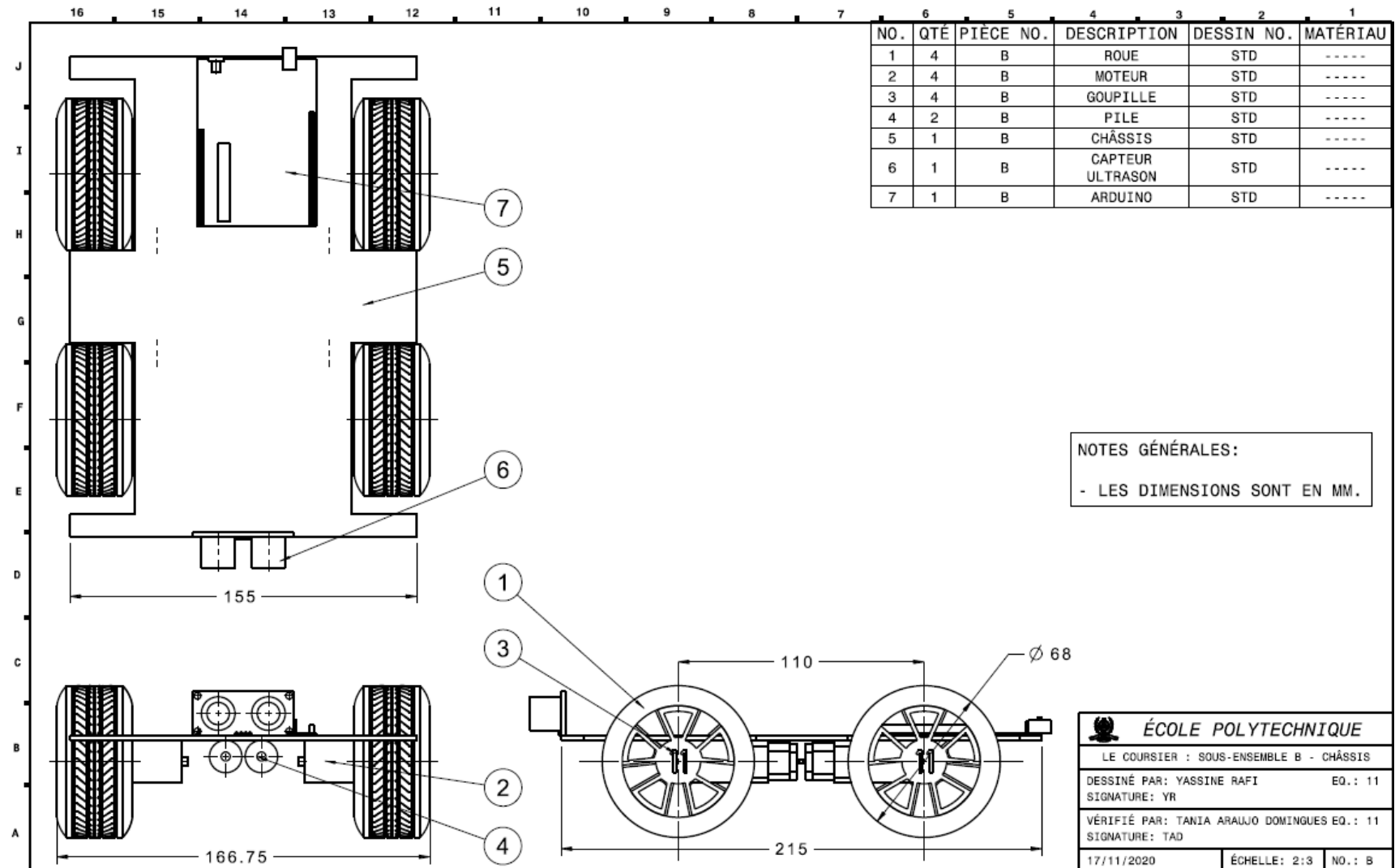


Figure 8 : Dessin du sous-ensemble C - Plaque à l'étage supérieur (C)

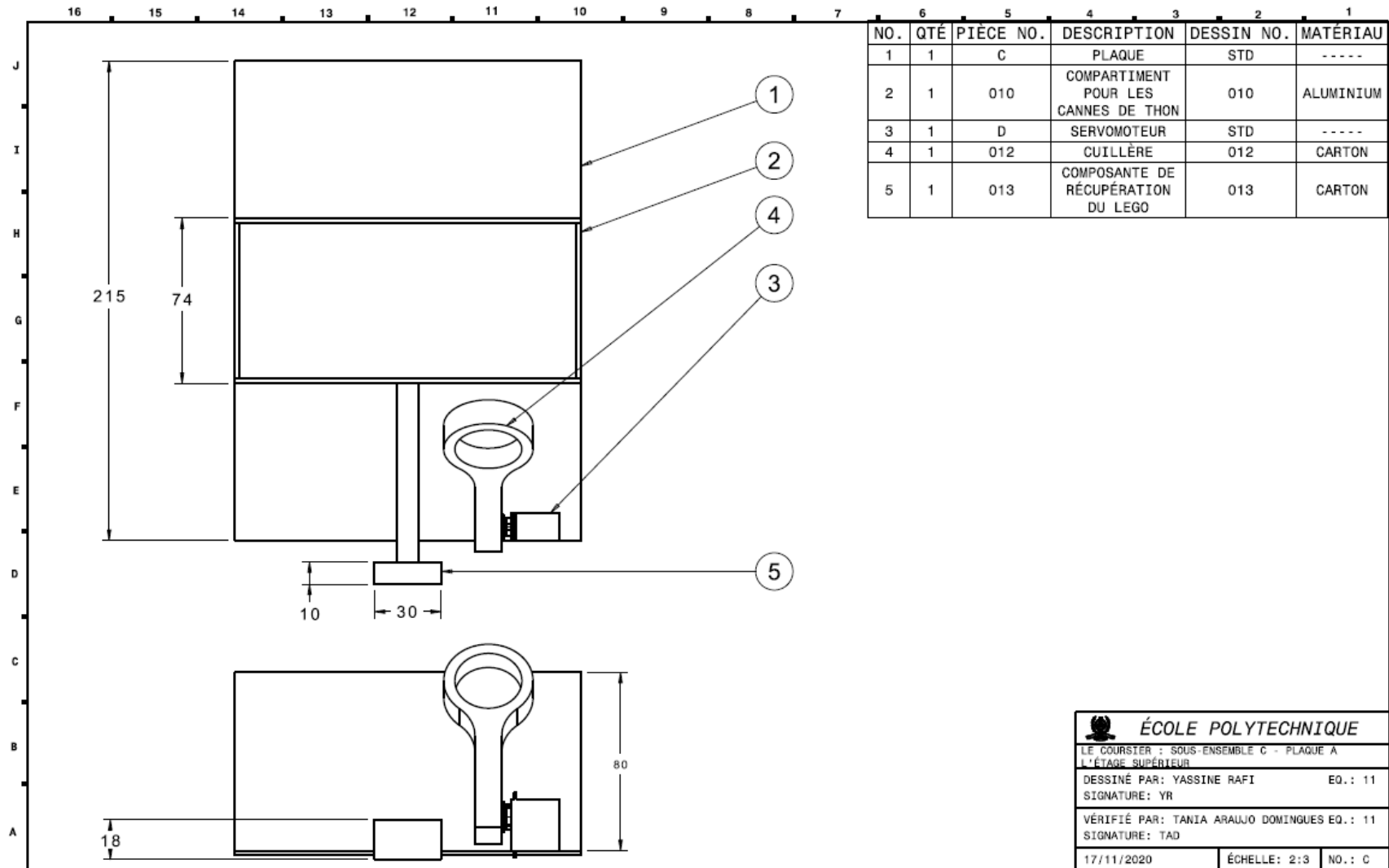
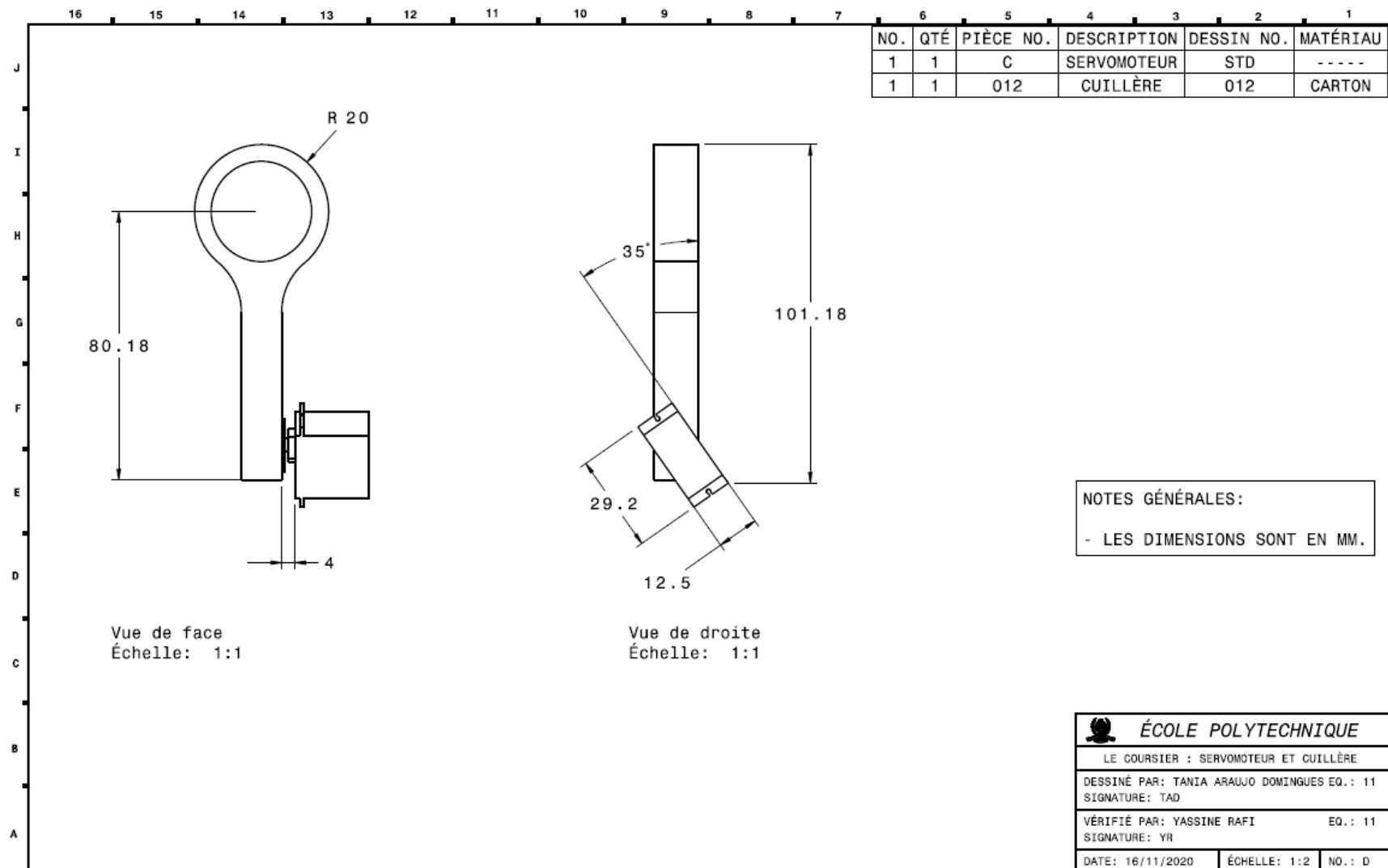


Figure 9 : Dessin du sous-ensemble D - Servomoteur et cuillère



### 4.3 Dessins de définition

Figure 10 : Dessin de définition de la pièce 010

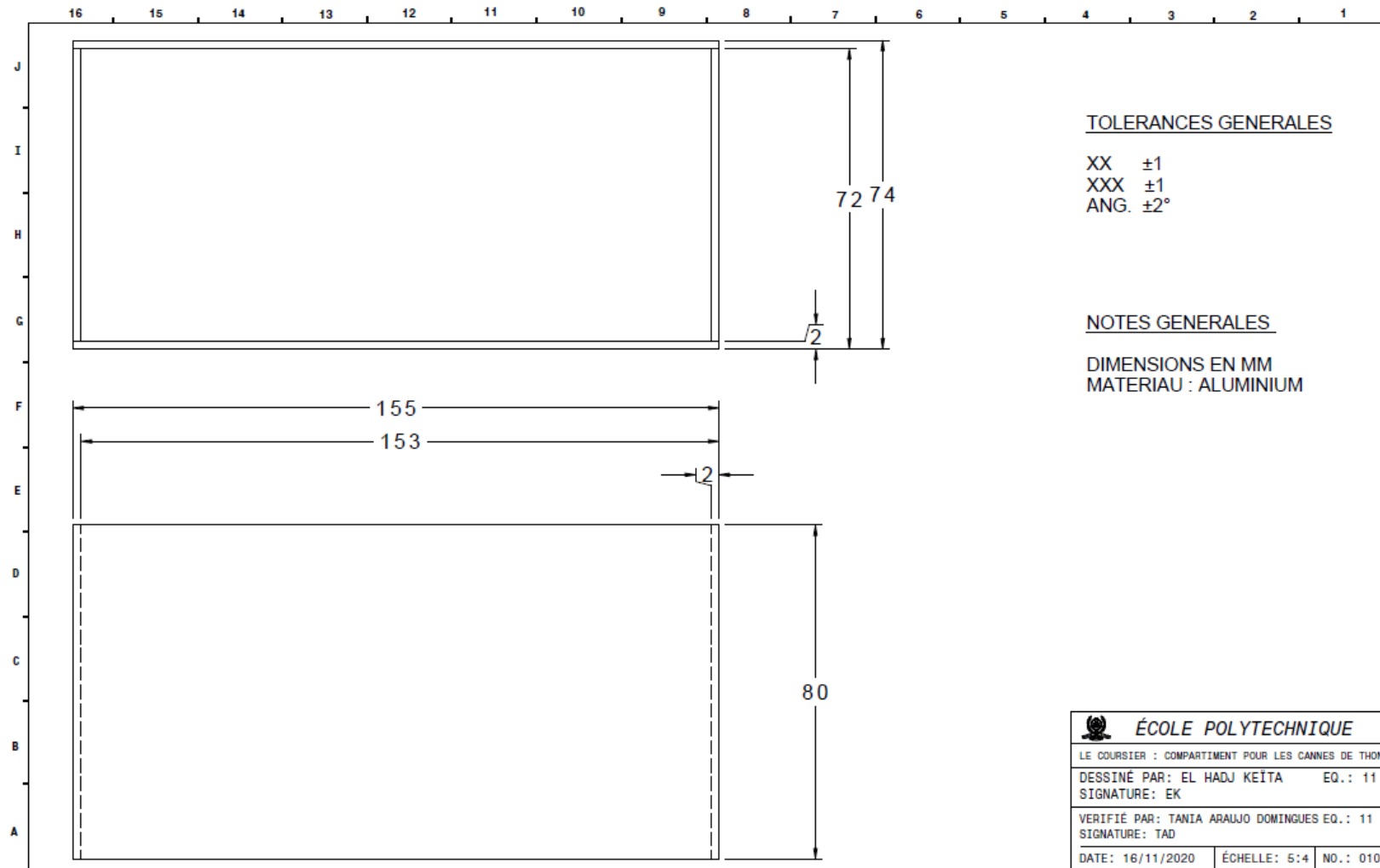


Figure 11 : Dessin de définition de la pièce 012

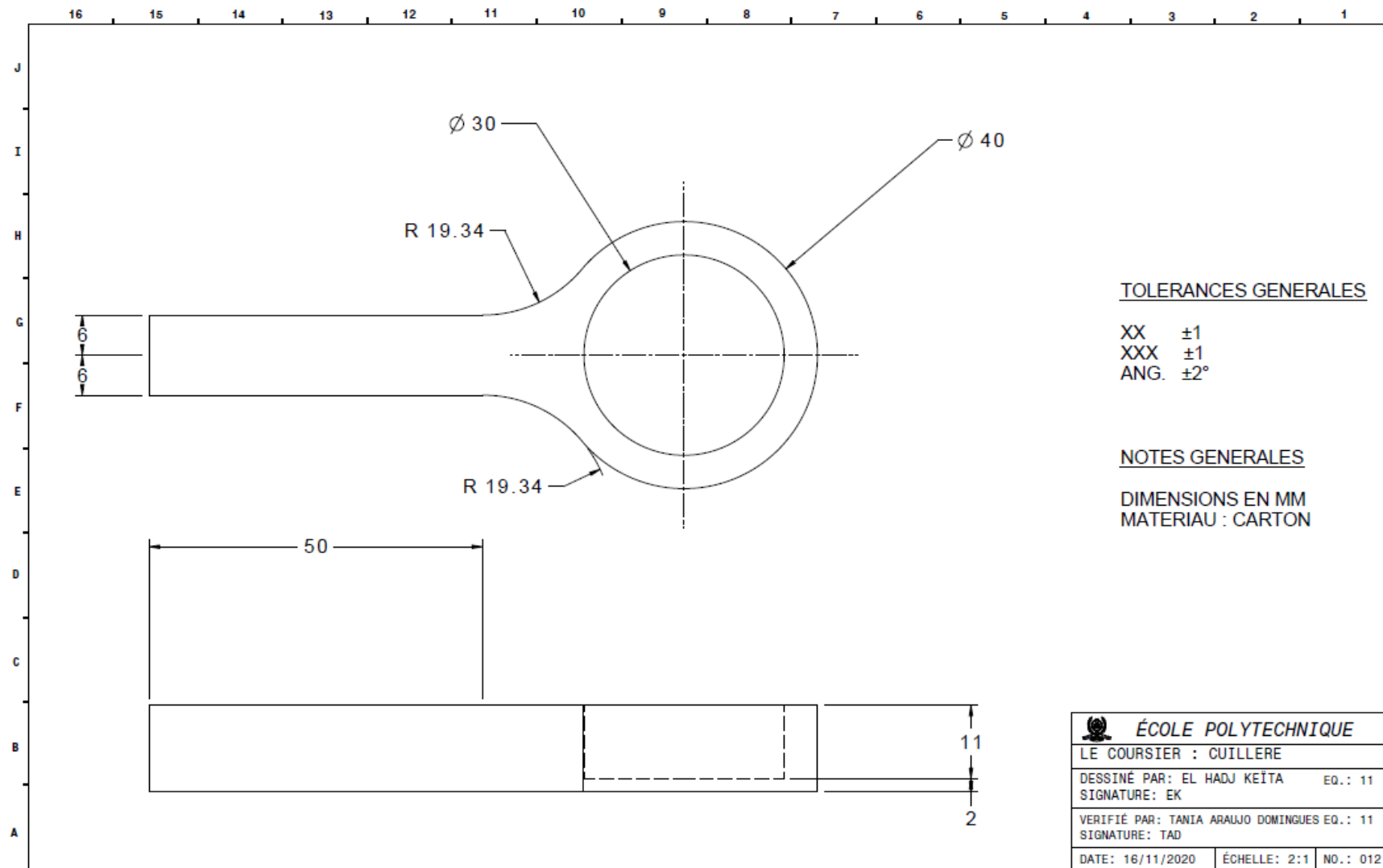
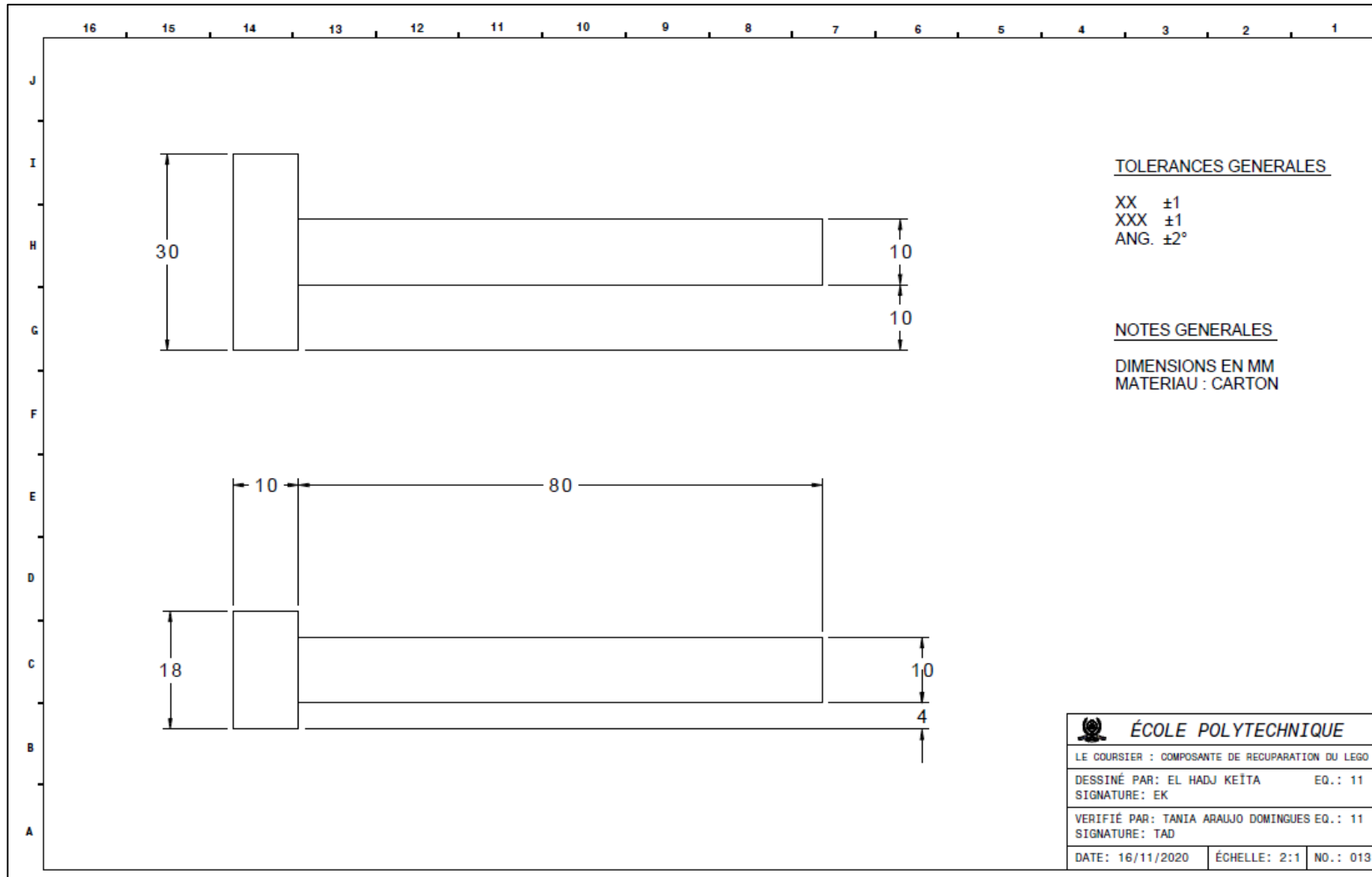




Figure 12 : Dessin de définition de la pièce 013



#### 4.4 Méthodes de fabrication

Les méthodes d'usinage ont été choisies selon les habiletés techniques de l'équipe et les machines disponibles. Un maximum de précision et un minimum de difficulté de fabrication ont été recherchés. Pour les numéros de pièce, se référer au dessin d'assemblage général (figure 6).

Figure 13 : Méthodes d'usinage pour différentes pièces

Nom	Pièce	Matériaux	Méthode d'usinage
1. Châssis	B5	Aluminium	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coupe du contour (scie à métal)</li> <li>• Sablage</li> <li>• Percer les trous</li> </ul>
2. Plaque	B9	Plastique	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coupe du contour (scie à ruban)</li> <li>• Sablage</li> <li>• Percer les trous</li> </ul>
3. Cuillère	012	Carton	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Découpe du contour</li> <li>• Percer un trou</li> </ul>
4. Composante de récupération de Lego	013	Carton	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Découpe du contour (scie à ruban)</li> <li>• Sablage</li> <li>• Lamage</li> <li>• Chanfreinage</li> </ul>
5. Compartiment pour les cannes de thon	010	Aluminium	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perçage (Pour fixer 010 À B9 avec des vis M3*25 et des écrous hexagonaux M3)</li> </ul>
6. Boitier de la Batterie	B4	Plastique	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lamage ((Pour fixer 010 À B5 avec des vis M3*25 et des écrous hexagonaux M3)</li> </ul>

## 4.5 Justification des assemblages

Le prototype est sur 2 étages. Il faut d'abord commencer par la base du coursier sur lequel tout le reste reposera ensuite.

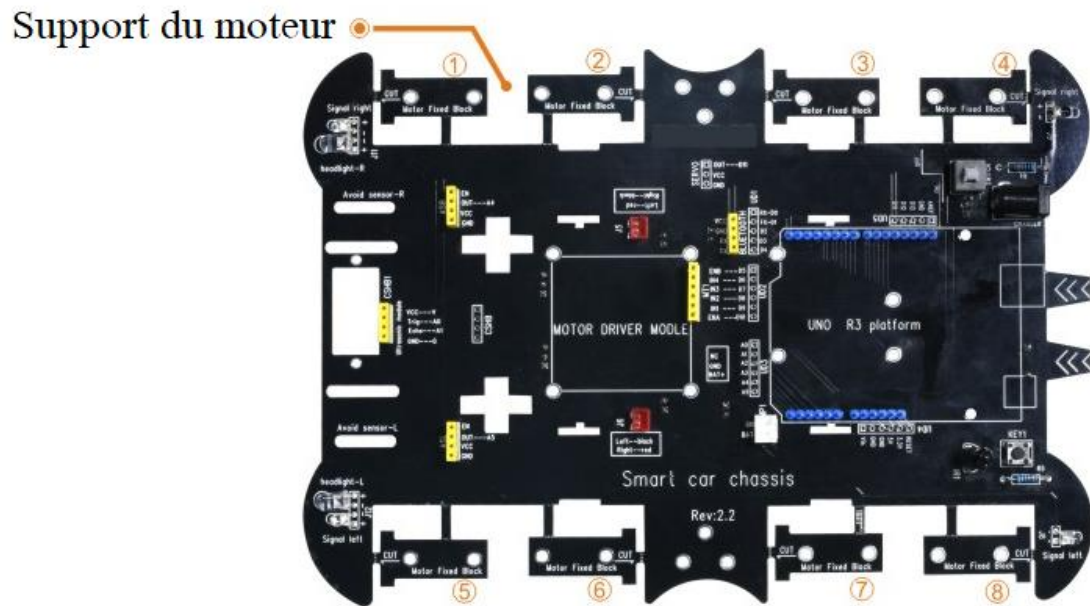
La première étape est donc de fixer les moteurs sur le châssis à leurs positions respectives avec des vis, car ce sont eux qui sont les éléments les plus importants en association avec les composantes électriques, qui leur permettent de fonctionner. Pour cela, le boîtier des batteries est fixé en dessous du châssis et, après avoir monté et branché les autres composantes électriques (Arduino, module ultrasonique, carte de commande), le code Arduino peut être ajouté. Il est très important de réaliser les étapes précédentes avant de continuer car il faut ensuite vérifier que les moteurs et donc le code fonctionnent comme souhaité. Une fois les vérifications et éventuels ajustements faits, les roues peuvent maintenant être insérées pour ensuite vérifier l'état du véhicule, c'est-à-dire si les déplacements sont possibles et surtout assez fluides. Avec la base du prototype, qui est la partie la plus importante et qui nécessite le plus de travail, la plaque en plastique peut être installée en la vissant à l'aide de poutres (barres de support). Le deuxième étage qui servira à accueillir les cannes de thon, la balle et le lego viennent en dernier, car les compartiments et mécanismes de dépôt et de récupération nécessitent plus de visites à l'atelier. Mais surtout sans une base complètement fonctionnelle, le coursier n'est pas très efficace et les autres éléments deviennent alors inutiles.

## 4.6 Séquence d'assemblage

Après avoir acheté et usiné toutes les pièces nécessaires pour l'assemblage, les étapes stipulées ci-dessous seront à suivre afin de bien assembler le prototype :

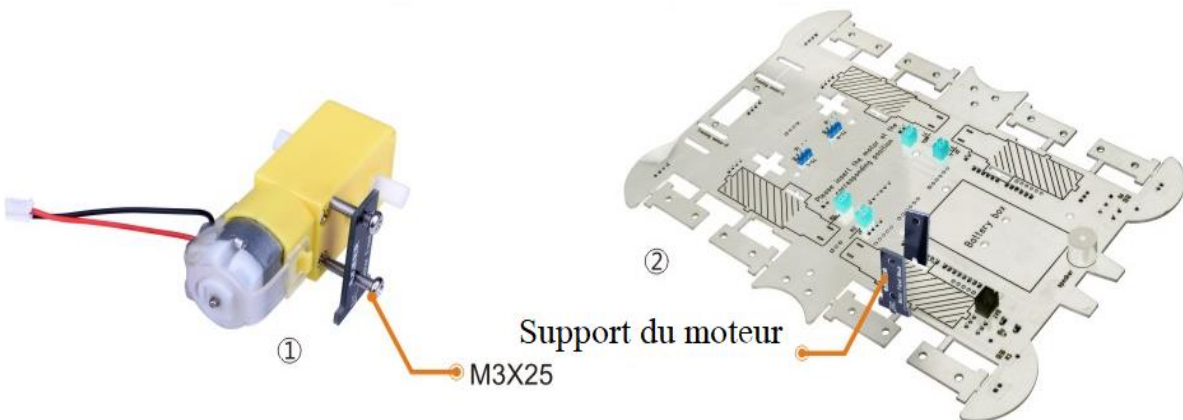
1. Enlever les 8 supports de moteur du châssis (chaque moteur possède 2 pièces).

Figure 14 : Support du moteur



2. Installez chaque moteur à la position correspondante sur le châssis avec les M3x25 vis et le support de moteurs. Les vis doivent traverser le motoréducteur.
  - Les deux supports vont être bloqués au-dessous par des écrous.

Figure 15 : Assemblage du moteur au châssis



3. Insérez toutes les fiches du moteur dans les prises correspondantes sur le châssis
4. Fixer le boîtier de la batterie avec les M3x25 vis à l'arrière du châssis puis branchez le fil de connexion du boîtier de la batterie dans la prise correspondante.
5. Aligner les connecteurs du boîtier Arduino Uno et du module ultrasonique suivant les connecteurs et bien les insérer dans les broches électriques correspondantes.

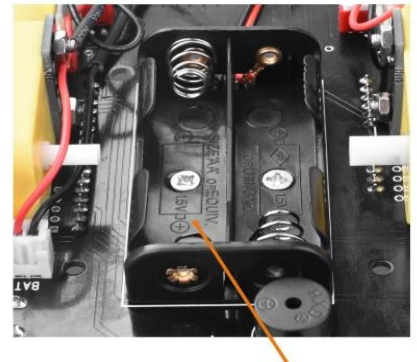


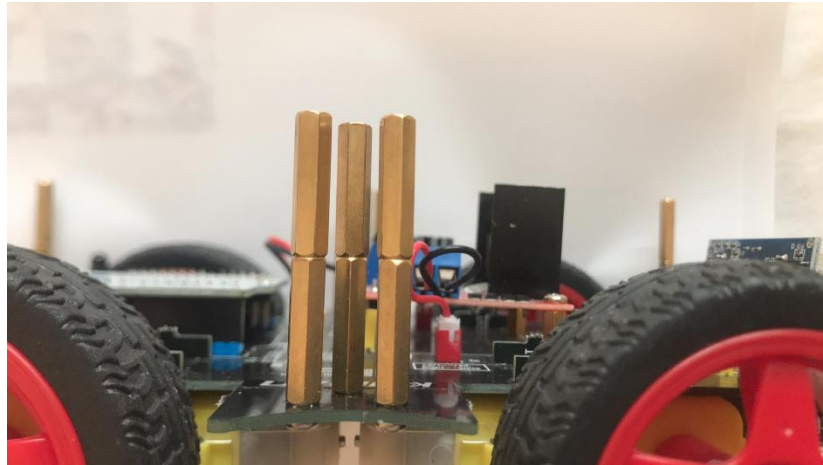
Figure 16 : Boîtier pour les batteries



Figure 17 : Arduino Uno

6. Branchez la carte de commande des moteurs L298N dans le connecteur correspondant.  
Ensuite, fixez-les avec 2 pièces de piliers en cuivre de 10 mm.
7. Installer le code de propulsion déjà écrit en utilisant le programme Arduino IDE.
8. Ajouter les roues au axels.
9. Visser 4 poutres afin de poser la deuxième plaque (plastique)

*Figure 18 : Barres de support pour soutenir la plaque de plastique*



10. Poser la deuxième plaque

*Figure 19 : Vissage de la plaque de plastique sur les barres de support*



11. Visser le bâton pour LEGO en-dessous de la plaque en plastique
12. Visser la catapulte sur le coursier.

## 5. Impact sur la société et l'environnement

Pour étudier l'impact du prototype en question sur la société et l'environnement, il serait judicieux de s'attarder sur l'impact qu'a chacune des phases du cycle de vie.

Le cycle de vie d'un produit est divisé en quatre phases distinctes : L'élaboration, qui consiste à concrétiser les idées du concept en un produit physique ; la fabrication qui comme son nom l'indique a pour but de fabriquer le produit en question ; l'utilisation et la fin de vie qui correspond à la phase où l'utilisation de produit touche à sa fin.

Le tableau ci-dessous résume donc les phases mentionnées précédemment ainsi que l'impact environnemental du prototype lors de chacune de ses phases.

*Figure 20 : Impacts environnementaux associés à chaque phase du cycle de vie d'un produit*

Étapes cycle de vie	Impact environnemental
Élaboration	C'est durant cette phase que le choix des matériaux ainsi que les procédés de fabrication ont été choisis. Cette phase en elle-même n'a donc aucun impact environnemental, cependant elle a son importance quant à l'impact du reste du cycle de vie.
Fabrication	<p>Le compartiment pour les cannes de thon est en aluminium, un matériau avec un excellent aspect environnemental. En effet, il peut être recyclé de façon infinie d'où le choix de ce dernier.</p> <p>Les piles utilisées contiennent du zinc, ressource dont l'extraction s'avère être extrêmement polluante, l'impact environnemental est donc non négligeable pour ces composantes.</p> <p>De plus, du carton sera utilisé pour la composante de récupération du LEGO ainsi que pour la cuillère. Il pourra donc être du carton recyclée, ce qui réduit l'impact environnemental.</p>
Utilisation	L'utilisation du prototype demande de l'électricité et des piles. Ainsi, à force d'utiliser le produit, les piles se déchargent et il faut donc les remplacer par d'autres piles. Elles sont difficiles à recycler et contiennent des substances toxiques. Leur gestion après la fin de vie a donc un coût environnemental important.

Figure 21 : Impacts environnementaux associés à chaque phase du cycle de vie d'un produit (suite)

Étapes cycle de vie	Impact environnemental
Fin de vie	<p>L'aluminium est recyclable à l'infini, comme mentionné ci-dessus, la plupart des composantes pourront donc être recyclées.</p> <p>La plaque quant à elle s'avère être en plastique, matériau qui est difficilement recyclable, l'impact environnemental de celle-ci est donc non négligeable.</p> <p>Le carton utilisé pour la cuillère et la composante de récupération du LEGO pourra être recyclé.</p> <p>Cependant, le prototype n'est pas facilement réparable. Ainsi, s'il y a un bris de matériel, il faudra remplacer les pièces, ce qui a un grand impact environnemental.</p>

En ce qui a trait de l'impact social du coursier, il a été entièrement conçu à l'aide de rencontres virtuelles et fabriqué en respectant les mesures sanitaires. Toutefois, le jour de la compétition aura un impact potentiel de transmission de la COVID-19 vu que cet événement rassemblera plusieurs personnes.



## Conclusion

Le but de l'étude couverte par ce présent rapport est de finaliser et détailler le concept final, soit *Coursier Covid*, pour donner suite aux résultats de l'étude de praticabilité. Pour ce faire, les étapes suivantes ont été détaillées : la présentation de la solution, l'analyse de la solution (dimensionnement et choix des matériaux) les dessins d'assemblages, la nomenclature, ainsi que l'impact du produit sur la société et l'environnement.

Le prototype final correspond donc à une fusion améliorée des trois prototypes ayant été considérés comme les plus performants au préalable. Pour résumer, le prototype est composé d'un servomoteur relié à une cuillère, auprès de celui-ci on retrouve un compartiment destiné aux cannes de thon, ce compartiment est placé sur une plaque en plastique. De plus, un bâton immobile avec du ruban adhésif au bout de celui-ci sera utilisé afin de récupérer le LEGO. Enfin, la base est quant à elle, est composée des 4 roues motrices.

Maintenant que les dessins d'assemblage ainsi que les dessins de définition sont finalisés, il est maintenant possible de procéder à la fabrication et à l'assemblage de toutes les pièces. Il faut aussi finaliser l'achat des pièces qui seront achetées pour s'assurer qu'elles seront reçues à temps pour la fabrication et, essentiellement, pour la compétition.

L'étude détaillée effectuée dans ce rapport est essentielle à la prochaine partie qui consiste à finaliser le prototype et à passer à la fabrication de ce dernier pour la compétition.

## ANNEXE A – Analyse des risques

*La probabilité d'occurrence d'une défaillance sera cotée de 1 à 5, 1 étant peu probable et 5 étant très probable. La gravité en cas de défaillance sera cotée de 1 à 5, 1 étant une gravité mineur et 5 étant une gravité majeure.*

*Figure 22 : Analyse des risques et défaillances*

FONCTION	Type de défaillance	Probabilité	Effets	Sévérité	Mesures d'atténuation
Transporter la balle de ping-pong	Le châssis se déforme lors du parcours.	1	Le véhicule n'est pas stable et la balle de ping-pong risque de tomber.	3	La flèche est de 0.5 mm au point le critique. La balle de ping-pong sera entreposée sur le côté du coursier, où la flèche est moindre.
Déposer la balle de ping-pong dans la zone de dépôt.	Le bras manque de synchronisation et dépose la balle trop tôt ou trop tard	3	La balle de ping-pong est déposée ailleurs que dans la boîte de dépôt.	3	Faire plusieurs essais avant la compétition.
	Le bras manque de précision et ne prends pas la balle de ping-pong.	3	La balle de ping-pong reste dans le coursier.	2	Faire plusieurs essais avant la compétition.
Transporter les cannes de thon sur le coursier.	Bris du châssis	1	Le coursier ne pourra plus avancer si le châssis principal brise	5	Le facteur de sécurité est supérieur à 8, le châssis pourra donc résister à des collisions et des changements de directions abruptes.
Parcourir la distance qui sépare les points A, B et C	Défaillance du moteur	1	Le coursier ne pourra plus avancer	5	Test rigoureux des moteurs et de leur capacité d'avancer. Choix d'une marque fiable.

Figure 23 : Analyse des risques et défaillances (suite)

FONCTION	Type de défaillance	Probabilité	Effets	Sévérité	Mesures d'atténuation
Parcourir la distance qui sépare les points A, B et C	Manque d'énergie des piles	1	Le coursier ne pourra plus avancer	5	Calcul d'énergie et test réel afin de s'assurer que le coursier peut parcourir au moins 10 mètres avant de se décharger
Déposer le LEGO dans le coursier.	Le bras manque de synchronisation et ne prend pas le LEGO ou le fait tomber	3	Le lego reste sur la zone de cueillette ou sur la piste	3	Faire plusieurs essais avant la compétition.
	Le bras manque de précision et ne prends pas le LEGO	3	Le lego reste sur la zone de cueillette ou sur la piste	3	Faire plusieurs essais avant la compétition.
Approcher le coursier de la zone de dépôt et de récupération	S'arrêter trop tôt	2	Le dépôt ou la récupération ne sera pas possible	3	Plusieurs essais avec le détecteur de distance
	S'arrêter trop tard	1	Il y aura collision avec la zone de dépôt ou de récupération et des objets pourraient tomber du coursier	4	Plusieurs essais avec le détecteur de distance
Monter la pente et se stationner	Manquer de puissance pour monter la pente	1	Le coursier ne finira pas son parcours dans le stationnement	2	Plusieurs essais et calculs de puissance afin de pouvoir monter la pente.
Changer de direction adéquatement	Le coursier tourne avec un angle trop prononcé et quitte sa trajectoire	2	Le coursier tombe de la table et se brise	5	Surveiller le coursier et être prêt à l'attraper lors d'essais

## **ANNEXE B – Approximation du temps de fonctionnement**

- Les trois changements de direction sont estimés à 3 secondes chaque (tableau 4)
- Les deux déplacements sur du plat seront estimés à 5 secondes (tableau 2)
- Le stationnement sera estimé à 5 secondes (tableau 3)
- Les deux manipulations seront estimées à 10 secondes chaque. (À valider expérimentalement lors de la prochaine phase)
- Le temps total de fonctionnement est donc estimé à 44 secondes.

## ANNEXE C – Calcul d'utilisation d'énergie

- Lorsque les moteurs fonctionnent ils utilisent **I =200mA** et **E=6 Volts**.
- Il y a 4 moteurs qui fonctionnent en simultané.
- On pose l'hypothèse que les moteurs fonctionnent constamment à plein régime lors des déplacements.
- Le temps total de déplacement est d'envir  n **t=24 secondes** (Voir Annexe B).

$$P=EI$$

$$W=P*t$$

Figure 24 : Calculs d'énergie

I (A)	E (V)	P (W)	��nergie (J)
0.2	6	1.2	28.8

Le calcul de capacité énergétique d'  une batterie en joules :

*milli Ampères-heures\*Volts = watt-heure*

*1 watt-heure = 3600 joules*

*Les informations nominales de la batterie sont :*

*Capacité : 2500mAh*

*Intensité : 1.5V*

*Capacité de chargement maximal : 1000mA*

*2.5\*1.2 = 3 Watt-heures*

*3 watt-heures = 10 800 Joules*

Ce qui est nettement supérieur à la dépense énergétique calculé. De plus, en essais pratiques, le coursier pouvait parcourir plus de 20 mètres avant de commencer à se décharger et perdre de sa puissance.

Il a été déterminé que le bras mécanique avait besoin d'au moins 3 cerveaux moteurs pour fonctionner et que les batteries n'offraient pas assez de courant pour faire fonctionner le bras mécanique et le coursier. Le bras mécanique a donc été remplacé par deux dispositifs n'utilisant pas d'électricité.

## ANNEXE D – Nomenclature – Bill Of Material (BOM)

Figure 25 : BOM de l'assemblage général

PROJET:	Le coursier	LE JEU DES 2 OBJETS								
LISTE DES PIÈCES										
								A	A x B	A x C
Identification (no de pièce)	Description	Dessin no	Matériau	Fournisseur et no. de pièce fournisseur	Masse unitaire (g)	Coût unitaire (\$)	Référence (assemblage et no)	Qté totale	Masse totale (g)	Coût total (\$)
B	ROUE	STD	---	AMAZON	40,00	2,56	B	4	160,00	10,24
B	MOTEUR	STD	---	AMAZON	10,00	6,00	B	4	40,00	24,00
B	GOUPILLE	STD	---	Rona	0,00	0,00	B	4	0,00	0,00
B	PILE	STD	---	CANADIAN TIRE #065-0667-0	25,00	3,82	B	2	50,00	7,64
B	CHÂSSIS	STD	ALUMINIUM	AMAZON	250,00	25,00	B	1	250,00	25,00
B	ARDUINO	STD	---	AMAZON	63,00	15,95	B	1	63,00	15,95
B	CAPTEUR ULTRASON	STD	---	AMAZON	45,00	3,37	B	1	45,00	3,37
A	BARRE DE SUPPORT	STD	ACIER	AMAZON	5,00	0,10	A	5	25,00	0,50
C	PLAQUE	STD	PLASTIQUE	AMAZON	60,00	5,00	C	1	60,00	5,00
010	COMPARTIMENT POUR LES CANNES DE THON	010	ALUMINIUM	Rona #63865523	200,00	14,99	010	1	200,00	14,99
D	SERVOMOTEUR	STD	---	AMAZON	9,00	3,32	D	1	9,00	3,32
012	CUILLÈRE	012	CARTON	Rona	10,00	0,00	012	1	10,00	0,00
013	COMPOSANT DE RÉCUPÉRATION DU LEGO	013	CARTON	Rona	10,00	0,00	013	1	10,00	0,00
									0,00	0,00
									0,00	0,00
								TOTAL:	922,00	110,01

Figure 26 : BOM du sous-ensemble B

[illegible]

[illegible]



Figure 28 : BOM du sous-ensemble D

[illegible]

