

## **Proposition de services**

---

**# Projet : 2020-646**

**Conception d'un système de robots joueurs de soccer**

---

Préparé par

Quessy, Benjamin  
Tremblay, Alexandre  
Antoine, Boucher

**Pour**

Serge Desbiens  
Département des sciences appliquées UQAC  
Club de Robotique UQAC

DATE

10/1/2020

CONSEILLER :

Alexandre Robichaud

COORDONNATEUR :

Serge Desbiens, ing

Approbation de la proposition de services pour diffusion
Nom du conseiller Date Signature

# Table des matières

1.	Introduction et mise en contexte du projet .....	6
2.	Analyse des besoins du client et des exigences des différents intervenants .....	6
2.1	Besoin et exigence des clients .....	6
2.1.1	Département des sciences appliquées.....	6
2.1.2	Besoins du club de robotique.....	7
2.2	Projet désiré .....	7
3.	Revue de l'état de l'art sur le sujet .....	8
3.1	Compétition de soccer robotisé actuel .....	8
3.1.1	RoboCup.....	8
3.1.2	FIRA (Federation of International Sports Association) .....	8
3.1.3	RoboCup Junior.....	8
3.2	Compétition de soccer robotisée RobotCup par catégorie.....	9
3.2.1	Humanoïde.....	9
3.2.2	Plateforme standard .....	9
3.2.3	Grandeur moyenne.....	9
3.2.4	Petite grandeur .....	9
3.2.5	Simulations 2D et 3D .....	10
4.	Codes et standards .....	10
4.1	Standard en informatique .....	10
4.2	Standards en langage de programmation utilisée .....	10
4.3	Standards en Intelligence artificiels .....	11
4.4	Standards en conception de machines.....	12
5.	Préoccupations sociales et professionnelles .....	12
5.1	Professionnalisme de l'UQAC .....	12
5.2	Moralité sur l'IA utilisé.....	13
5.3	Esthétisme et présentation.....	13
5.4	Impacte sur la santé-sécurité .....	14
5.4.1	La facilité de transport .....	14
5.4.2	Sécurité de manipulation .....	14
5.4.3	Feu et explosion.....	14
5.4.4	Sécurité des données.....	14

5.5	Impact sur l'environnement.....	15
6.	Méthode de résolution envisagée (ingénierie de concept) .....	15
6.1	Évaluation des solutions et systèmes potentiels .....	16
6.1.1	Cloud .....	16
6.1.2	Serveur .....	17
6.1.3	Embarqué (Edge) .....	18
6.2	Décomposition du problème en tâches à réaliser.....	18
6.2.1	Sélection de l'algorithme d'intelligence artificielle.....	18
6.2.2	Sélection des composantes physiques.....	18
6.2.3	Entraînement de l'intelligence artificielle et conception physique des robots.....	19
6.2.4	Assemblage.....	19
7.	Description de l'équipe .....	20
7.1.1	Tâches assignées à chacun des membres .....	21
8.	Calculs et/ou évaluations préliminaires.....	22
8.1.1	Évaluation de la puissance consommée.....	22
8.1.2	Évaluation de la puissance de calcul .....	22
8.1.3	Évaluation de taille du circuit ou jeux .....	22
9.	Estimation des coûts .....	23
10.	Échéancier (diagramme de Gantt) .....	24
11.	Références .....	26

## Table des figures

Figure 1:	Légende des échéanciers .....	24
Figure 2:	Échéancier ingénierie préliminaire .....	24
Figure 3:	Échéancier ingénierie de Concept .....	24
Figure 4:	Échéancier de remis et présentation .....	25
Figure 5:	Échéancier d'ingénierie détaillé .....	25

## Liste des Tableaux

Tableau 1: Tableau des normes en sécurité des machines.....	12
Tableau 2: Tableau des estimations des coûts.....	23

## **1. Introduction et mise en contexte du projet**

Le département des sciences appliquées a besoin de matériel pour faire des démonstrations de l'UQAC au cours de ses différentes activités de promotions. Le Club de robotique UQAC CRUQAC a proposé de faire un robot de démonstration. Ce robot pourra être exposé et en faire la démonstration de ses capacités lors des événements de promotion du DSA de l'UQAC. Les étudiants membres de cette équipe seront les représentants du club de robotique pour ce projet. Pour répondre à cette demande, notre équipe propose un système de deux robots s'affrontant dans une compétition de soccer. Un de ces robots sera contrôlé par un membre du public tandis que le deuxième robot sera automatisé. Ce projet permettra de démontrer le savoir-faire des étudiants en génie de l'UQAC en plus d'offrir une interaction avec le public.

## **2. Analyse des besoins du client et des exigences des différents intervenants**

### **2.1 Besoin et exigence des clients**

Puisque le client est un groupe composé de deux entités différentes soit le Département des sciences appliquées (DSA) et le club de robotique de l'UQAC (CRUQAC). Il est important d'analyser ce que les deux entités veulent tirer de ce projet.

#### **2.1.1 Département des sciences appliquées**

Les besoins du département sont d'avoir une plateforme de démonstration. Cette plateforme se doit d'être :

- 1. Facile à transporter;*
- 2. D'être de bon goût et attirante;*
- 3. Qui démontre les capacités d'un étudiant en génie;*
- 4. D'être sécuritaire pour le public;*

### 2.1.2 Besoins du club de robotique

Le Club de robotique veut augmenter son expertise dans le domaine de l'intelligence artificielle (IA), le ML (Machine Learning) ainsi que la conception avec FPGA (Field Programmable Gate Array)

Il est donc primordial que les solutions proposées intègrent au moins une de ces technologies. De plus, le Budget maximum attribué à ce projet en quincaillerie est de 3000\$

De plus, il est voulu que le l'ensemble des unités de calculs soit transportables.

## 2.2 Projet désiré

Le client a proposé un concept où le robot aurait pour but de faire la promotion du département de science appliquée (DSA) de l'UQAC. Pour ce faire, le client désire que le robot utilise de l'intelligence artificielle et/ou l'apprentissage machine pour la démonstration. Le robot devra donc effectuer une tâche seule sans intervention humaine. Le tout, soit le robot autonome et ses accessoires, se doit d'être facilement transportable. La mise en place pour rendre le tout opérationnel se doit d'être simple et rapide.

1. L'ensemble des données et décisions du robot se doivent d'être embarquées
2. Aucun cordon d'alimentation ne doit être apparent.
3. Le robot doit interagir avec le public
4. Le robot et son matériel doivent être facilement transportables
5. Le robot doit être facile d'utilisation
6. Le robot doit attirer l'attention du public.

Afin répondre à ce besoin, le projet ici présent sera de faire la conception d'une plateforme de robots joueur de soccer. Un membre du public sera invité à contrôler le robot de l'équipe "HUMANITY" tandis que le robot de l'équipe adverse sera contrôlé par une intelligence artificielle.

### **3. Revue de l'état de l'art sur le sujet**

#### **3.1 Compétition de soccer robotisé actuel**

##### **3.1.1 RoboCup**

Le but de RoboCup est de promouvoir la robotique et la recherche en intelligence artificielle en proposant des défis. Leur but est de promouvoir la science et l'ingénierie en offrant des buts à long terme. Le fait de faire un robot qui joue au soccer n'est pas très significatif au niveau social et économique, mais l'accomplissement de ce but est certainement un grand accomplissement pour le domaine. Pour eux RoboCup est comme un projet qui sert de point de repère pour résoudre un problème standard.[1]

##### **3.1.2 FIRA (Federation of International Sports Association)**

Fondé en 1996 par le professeur Jong-Hwan Kim en coré, il s'agit de la plus ancienne compétition de soccer robotisé au monde. De ses débuts modestes, cette compétition a pris de l'importance. Son but est d'utiliser le soccer comme point de référence pour mesurer les robots les uns les autres. FIRA offre aussi d'autres compétitions. [2]

##### **3.1.3 RoboCup Junior**

RoboCupJunior est un projet à vocation éducative qui supporte les événements de robotique local, régional et international des étudiants âgés de 19 ans ou moins. Il a aussi pour but de promouvoir les compétitions de RoboCup (mentionner ci-haut) au jeune du primaire et secondaire. L'orientation de RCJ (RoboCupJunior) est davantage orientée vers l'éducation que la compétition. RCJ propose plusieurs compétitions donc une qui concerne le soccer.[3]



## **3.2 Compétition de soccer robotisée RobotCup par catégorie**

### **3.2.1 Humanoïde**

Dans la ligue de robot humanoïde, les robots sont autonomes et ont une morphologie et des sens semblables à l'être humain et jouent entre eux comme les humains. Les capteurs qui ne sont pas humains, des capteurs de distance par exemple, ne peuvent être utilisés. Le type de robot humanoïde est libre. En plus de la compétition de soccer, d'autres compétitions ont lieu comme à marche, la course et le coup de pied dynamiques tout en maintenant l'équilibre, la perception visuelle du ballon, d'autres joueurs et du terrain, l'autolocalisation et le jeu d'équipe font partie des nombreux problèmes de recherche étudiés dans la Ligue humanoïde. [4]

### **3.2.2 Plateforme standard**

Il s'agit de robot humanoïde, mais avec des robots qui sont tous identiques. Les robots sont tous autonomes et prennent leur décision par eux même et indépendamment des autres. Le jeu est joué sur une version miniature et réaliste de terrain de soccer.[5]

### **3.2.3 Grandeur moyenne**

La compétition grandeur moyenne consiste d'une équipe de cinq robots complètement autonomes qui joue avec un ballon de soccer standard de la FIFA. Les équipes sont libres de faire le design de leur propre robot à condition que le capteur soit embarqué et que les dimensions et le poids soient respectés. La recherche est orientée sur la mécatronique, le contrôle et la coopération des robots.[6]

### **3.2.4 Petite grandeur**

La ligue de petite grandeur aussi appelée F180, est l'une des plus anciennes ligues de soccer de RoboCup. La ligue se concentre sur le problème de la coopération et du contrôle intelligent multirobot et d'agents dans un environnement dynamique avec un système hybride central et localisé.[7]

Tous les objets sur le terrain sont suivis par un système de vision standard qui est donné par quatre caméras qui sont à 4 mètres du terrain de jeu. Le système de vision est appelé *SSL-Vision* et est un projet en source ouverte maintenu par la ligue.

En dehors du champ, les ordinateurs de chaque équipe servent au contrôle et à la coordination des robots sur le terrain. La communication se fait de façon sans fil en utilisant des solutions radio commercial.

### **3.2.5 Simulations 2D et 3D**

La compétition RoboCup comprend une compétition en simulation 2D et 3D. Ceci est très semblable à la compétition physique de Robocup, mais où l'environnement et les joueurs sont simulés par ordinateur. [8]

## **4. Codes et standards**

### **4.1 Standard en informatique**

En informatique, les standards consistent principalement à s'assurer que le code est versionné et bien commenté. Également, la vérification et validation (V&V) est essentielle.

La norme ISO 29110 : *Systems and Software Life Cycle Profiles and Guidelines for Very Small Entities*[9] qui s'applique aux équipes de moins de 25 personnes en développement sera également suivi

### **4.2 Standards en langage de programmation utilisée**

Les standards de programmation sont propres à chaque langage sont trouvables dans les spécifications des langages. Il faudra donc les consulter une fois que les choix technologiques seront faits.

### 4.3 Standards en Intelligence artificiels

Actuellement l'IA n'est pas régie par une loi ou une norme spécifique au Canada. Cependant, Le Canada a adopté en 2017 la « Pan-Canadian AI Strategy » [10]

Selon CIFAR [11], l'organisme à l'origine de l'initiative, cette stratégie a pour objectifs de :

- *L'accroissement du nombre de grands chercheurs et diplômés qualifiés dans le domaine de l'intelligence artificielle au Canada.*
- *Établissement de centres d'excellence scientifique interconnectés dans les trois grands centres canadiens de l'intelligence artificielle situés à Edmonton, à Montréal et à Toronto.*
- *Établissement d'un leadership éclairé d'envergure mondiale relativement aux répercussions économiques, éthiques, politiques et juridiques des percées en intelligence artificielle.*
- *Soutien d'une communauté de recherche nationale en intelligence artificielle.*

## 4.4 Standards en conception de machines

Tableau des normes	
Nom	Nom complet de la norme
<b>ISO 13850:2015 [12]</b>	Safety of machinery — Emergency stop function — Principles for design
<b>ISO 13849-1:2015 [13]</b>	Safety of machinery — Safety-related parts of control systems — Part 1: General principles for design
<b>ISO 13849-2:2012 [14]</b>	Safety of machinery — Safety-related parts of control systems — Part 2: Validation
<b>ISO/WD 13855 [15]</b>	Safety of machinery — Positioning of safeguards with respect to the approach of the human body
<b>CAN/CSA-Z434-14 (R2019) [16]</b>	Safety requirements for industrial robots - Part 1: Robots

**Tableau 1: Tableau des normes en sécurité des machines**

## 5. Préoccupations sociales et professionnelles

### 5.1 Professionnalisme de l'UQAC

Comme ce robot sera apporté lors de démonstration dans d'autres régions et à l'UQAC, ce dernier se doit de représenter l'UQAC avec fierté. Les gens qui verront ce robot en action devront avoir une perception positive et professionnelle de ce que l'UQAC et ses étudiants sont capables de réaliser. Si le robot renvoie une image négative, l'UQAC pour perdre sa crédibilité et ne montrera pas le professionnalisme de ses étudiants et étudiantes. De plus,

le robot n'aurait pas atteint son but promotionnel. C'est pour ces raisons que de l'emphase doit être portée sur la perception du robot par les autres.

## **5.2 Moralité sur l'IA utilisé**

Étant donné que la nature des fonctionnalités du robot, celui-ci demande d'y inclure d'une façon ou d'une autre une intelligence artificielle. Celle-ci doit respecter certaines considérations morales face à son interaction avec le public. L'IA ne doit pas être discriminatoire envers ceux et celle qui interagiront avec elle et ne devra pas être irrespectueuse de quelque façon. L'utilisateur humain devra toujours sentir qu'il maîtrise la situation par rapport à l'AI et jamais le contraire

## **5.3 Esthétisme et présentation.**

La présentation du robot au niveau visuel est un aspect qui ne doit pas être négligé. Elle démontre entre autres le professionnalisme de l'UQAC et de l'équipe qui l'a réalisée. De plus, un robot qui a un aspect visuel intéressant sera plus incitant à être vu par le public cible. De cette façon, le but de promouvoir les capacités des étudiants et étudiantes de l'UQAC. Si l'esthétisme n'est pas pris en compte, le robot pourrait ne pas avoir la visibilité désirée par le client.

## **5.4 Impacte sur la santé-sécurité**

Les sous-sections suivantes énumèrent les risques potentiels à la santé et sécurité par rapport au projet.

### **5.4.1 La facilité de transport**

Des blessures peuvent subvenir au cours du transport des équipements si l'ensemble est trop lourd ou si les équipements ne sont pas adaptés au transport. Les lésions possibles sont les torsions lombaires ou autres lésions au dos lors du levé de la charge. Il est aussi possible d'avoir des chutes de même niveau sur de surfaces glissantes lors du transport durant la période hivernale. Il sera à voir si le projet peut être déplacé dans une étudie de transport ou une valise de transport.

### **5.4.2 Sécurité de manipulation**

Puisque les composantes seront manipulées par le grand public, il est important que les composantes soient sécuritaires à la manipulation. Cela peut être atteint en effectuant une réduction des pièces mobiles du robot.

### **5.4.3 Feu et explosion**

Certains robots sont équipés de batteries au Lithium. Ces batteries sont souvent bénignes en environnement contrôlé. Cependant, lors d'un court-circuit important, il est possible que ces batteries prennent feu ou même explosent.

### **5.4.4 Sécurité des données**

Le robot sera surement équipé de capteurs ou d'autres modules d'acquisition de données. Il est important de protéger ces données contre l'accès de la partie non autorisé.

## **5.5 Impact sur l'environnement**

Les principales impactent du projet sont l'origine de ses composantes, ainsi que la technologie de pile utilisée. Des batteries rechargeables seront à prioriser afin de réduire l'impact environnemental. Ce type de pile peut être de type *Li-Po* ou *Ni-MH*.

## **6. Méthode de résolution envisagée (ingénierie de concept)**

Afin de répondre à la demande du client, plusieurs options se présentent dans la réalisation de ce projet. Des robots de petites tailles sont recommandés pour le transport et santé et sécurité lors de la manutention. L'intelligence artificielle peut être implanté de trois façons différentes[17]:

1. *Centralisé sur Cloud*
2. *Centralisé via Serveur local*
3. *Embarqué (Edge Computing)*

## 6.1 Évaluation des solutions et systèmes potentiels

### 6.1.1 Cloud

Cette solution consiste à avoir des capteurs IoT connectés sur nuage (serveur éloigné). L'ensemble des données sont envoyées via connexion Ethernet/IP à ce serveur. Le serveur s'occupe de traiter les données, de prendre une décision et renvoyer les instructions au robot. Dans ce cas si le robot n'est seulement qu'un objet IoT. Le serveur prend l'ensemble des décisions.

**Les avantages sont :**

- *L'acquisition de matériel physique est réduite avec l'utilisation de plateformes de Cloud louées.*
- *Plusieurs services de nuage sont disponibles à un coût mensuel afin d'éviter l'achat de matériel physique[18]*
  - *Amazon web services (AWS)*
  - *Microsoft Azur*
  - *Google Cloud Platform – AI Plateforme*
  - *OpenAI API*

**Les désavantages sont :**

- *Possibilité d'une plus grande latence en lien avec une dépendance du réseau*
- *Un montant mensuel sera requis pour l'ensemble de la durée de vie du projet.*



### 6.1.2 Serveur

Tout comme le nuage, un serveur s'occupe de traiter l'ensemble des données ainsi que de la prise de décision. Toutefois, le serveur est dans ce cas si placé à proximité local des autres objets. Les avantages possibles sont une réduction de la latence.

**Les avantages sont :**

- *Le projet n'est pas dépendant des services mensuels*
- *Possibilité de latence réduite*

**Les désavantages :**

- *L'acquisition d'un centre de traitement des données est requise.*

### 6.1.3 Embarqué (Edge)

Contrairement à l'approche centralisée, avec l'approche embarquée, le robot s'occupe de prendre lui-même ses décisions. Cela réduit la quantité de données qui transige dans la bande passante. Avec cette option chaque robot s'occupe de prendre ses décisions de façon individuelle.

#### **Les avantages sont :**

- *Réduction des données qui transige dans la bande passante;*
- *Chaque robot peut prendre une décision individuellement*

#### **Les désavantages :**

- *Le coût de chaque robot augment drastiquement puisque chaque robot aura une intelligence embarquée*

## 6.2 Décomposition du problème en tâches à réaliser

Il est possible de décomposer ce projet en quatre étapes distinctes.

### 6.2.1 Sélection de l'algorithme d'intelligence artificielle

En premier lieu, il est important de choisir l'algorithme utilisé. Ce choix permet d'ensuite faire une approximation de la puissance de calcul qui sera nécessaire au bon fonctionnement du projet. Cela permettra de prendre les bonnes décisions dans le choix du matériel et les dimensions du robot. Cette étape est cruciale, car, la puissance de calcul nécessaire au fonctionnement de l'algorithme sera le facteur déterminant. En effet, ce calcul de la puissance nécessaire permettra de déterminer si la solution sera implémentée de façon, *embarqué, serveur*, ou « *Cloud* ». Le choix de la solution aura un grand effet sur les dimensions physiques des robots.

### 6.2.2 Sélection des composantes physiques

La sélection des composantes physique sera déterminée par la puissance de calcul nécessaire. Les composantes auront à leur tour un impact sur les dimensions des robots et sur la puissance consommée. Un robot avec une IA embarqué sera beaucoup plus énergivore qu'un robot IoT contrôlé par un serveur via connexion sans fil. De plus, une intelligence embarquée aura pour

effet demander de demander une puissance de calcul supérieure (matériel plus volumineux) et donc une batterie de plus grande capacité pour alimenter le tout. Tous ces paramètres sont importants à prendre en compte lors de la prise de décision, car des robots plus gros et plus lourds entrent directement en conflit avec l'aspect portabilité exigé par le client en début de projet. De plus, le choix du matériel aura un impact le coût d'acquisition et de construction de chaque robot. La décision d'acheter une plateforme robotisée existante ou de faire la conception d'un robot sera prise durant la période d'ingénierie de concept. Cette décision inclut aussi la sélection des moteurs et composants électroniques. La décision sera prise en fonction des demandes du client dans l'optique de respecter les échéanciers ainsi que le budget de projet.

#### **6.2.3 Entraînement de l'intelligence artificielle et conception physique des robots**

Durant la majorité du projet, deux tâches distinctes seront effectuées en parallèle. La première est de procéder à l'entraînement de l'intelligence artificielle en fonction de l'algorithme choisi. La deuxième tâche sera de faire la conception physique du modèle du robot. Cela peut inclure la conception d'un circuit intégré.

#### **6.2.4 Assemblage**

La dernière étape du projet est l'assemblage et la mise en fonction du prototype. Des détails supplémentaires seront fournis lors de la période d'ingénierie de concept.

## 7. Description de l'équipe

L'équipe est constituée de trois membres qui sont en dernière année de leur baccalauréat en génie.

### **Quessy, Benjamin** (Génie électrique)

Étudiant en 4<sup>e</sup> année du Baccalauréat en génie électrique. DEC en Environnement, Hygiène et Sécurité au Travail. Membre du club de robotique depuis janvier 2015. Membre de l'équipe machine des jeux de génie en 2016 et 2018. Expérience en Automatisation, Programmation d'interfaces, et conception de machines.

### **Tremblay, Alexandre** (Génie électrique):

Termine présentement son baccalauréat en génie électrique et possède un diplôme d'études collégial en génie mécanique comme concepteur mécanique. A déjà participer à la conception de la machine des jeux pour les jeux de génie 2020. Il est passionné par tout ce qui a trait au système autonome et à l'électronique de tout genre.

### **Antoine, Boucher** (Génie informatique)

Finissant cette année en génie informatique. Autrefois développeur logiciel dans plusieurs firmes d'ingénierie de la région, il est désormais particulièrement enthousiaste à la réalisation de systèmes d'envergure et à la R&D.

### 7.1.1 Tâches assignées à chacun des membres

Bien que chaque membre sera appelé à travailler sur la majorité des diverses composantes du projet, chaque membre de l'équipe sera nommé responsable d'une étape cruciale du projet.

#### **Quessy, Benjamin**

*Gestionnaire de projet, concepteur de système et représentant du client*

Benjamin est le membre du club de robotique responsable du projet. À ce titre il est le représentant du client ainsi que le coordonnateur du projet. Benjamin sera responsable du respect des échéanciers ainsi que du respect du budget. D'un point de vue technique, il aura pour tâche supporter chacun des membres de l'équipe dans la conception et la prise de décision.

#### **Tremblay, Alexandre**

*Design électrique et électronique*

Alexandre possède une expérience concrète en conception de robot et en électronique. En ce sens, il sera responsable de la conception électronique ainsi que du choix de la plateforme robotique.

#### **Antoine, Boucher**

*Design informatique et logiciel*

Antoine sera le responsable de partie Intelligence artificielle et logicielle du projet. Ses tâches seront d'évaluer quel algorithme utiliser et comment l'implanter sur la plateforme choisie.

## **8. Calculs et/ou évaluations préliminaires**

### **8.1.1 Évaluation de la puissance consommée**

L'élément qui est le plus critique à la consommation de puissance est l'ordinateur embarqué. Pour ce faire, de petits systèmes spécialement conçus pour des applications embarquées existent. Ces ordinateurs consomment peu de puissance et offre une bonne capacité de calcul.

### **8.1.2 Évaluation de la puissance de calcul**

Des plateformes de développement spécialement conçu pour des applications d'apprentissage machine et d'intelligence existe déjà. Ces plateformes ont les ressources nécessaires afin de permettre au modèle d'intelligence artificielle de s'exécuter sur le matériel. Étant donné que le robot n'a pas la nécessité de prendre des décisions rapidement, les plateformes mentionnées ont les capacités désirées. De plus, des projets semblables en termes de capacité de calcul ont déjà été réalisés utilisant ces plateformes.

### **8.1.3 Évaluation de taille du circuit ou jeux**

Les robots devront être les plus petits possible afin de réduire la taille du circuit ou du jeu. Des robots de prototypage existant ont des tailles de 20 à 30 CM. Se faisant, le circuit ou jeux pourrait avoir une dimension de 2 à 3 mètres en longueur et largeur.

## 9. Estimation des coûts

Estimation des coûts		Robot démonstrateur	
Achat de matériel	qte.	prix unitaire	total (\$)
Plateforme robotique	2	400	800
Plateforme de développement IA	1	500	500
Camera	1	80	80
Autres capteurs	1	100	100
Impression pièces	1	50	50
Parcours	1	100	100
Ordinateur (optionnel)	1	1000	1000
Routeur/commutateur de réseau (optionnel)	1	100	100
	Sous total (\$)		2730
Achat logiciel	qte.	prix unitaire	total (\$)
Éditeur de texte	1	0	0
M.L. API	1	0	0
Simulateur de robotique	1	0	0
	sous total (\$)		0
Main d'œuvre et ing.	heures	taux horaire	total (\$)
Recherche et documentation	150	60	9000
Conception	100	60	6000
Programmation et implémentation	370	60	22200
Test et amélioration	100	60	6000
Fabrication du robot	55	60	3300
	sous total (\$)		46500
	Grand total (\$)		49230

**Tableau 2: Tableau des estimations des coûts**

## 10. Échéancier (diagramme de Gantt)

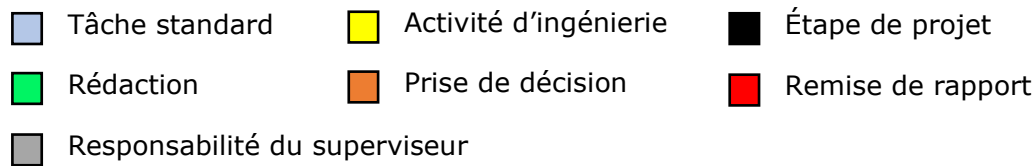


Figure 1: Légende des échéanciers

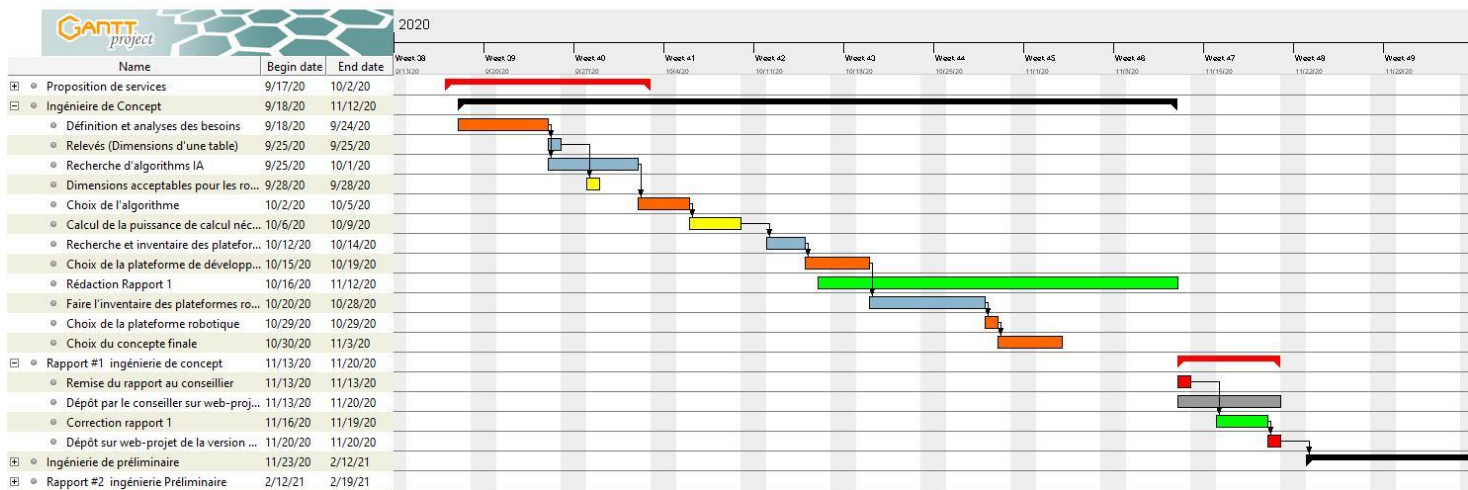


Figure 3: Échéancier ingénierie de Concept

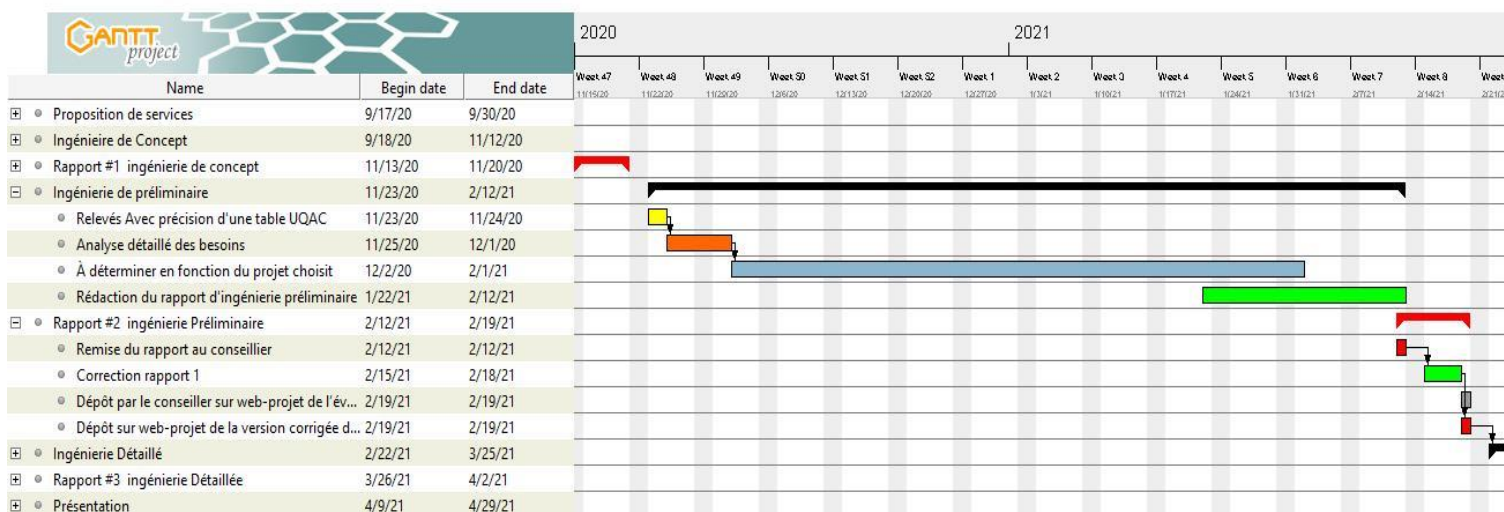
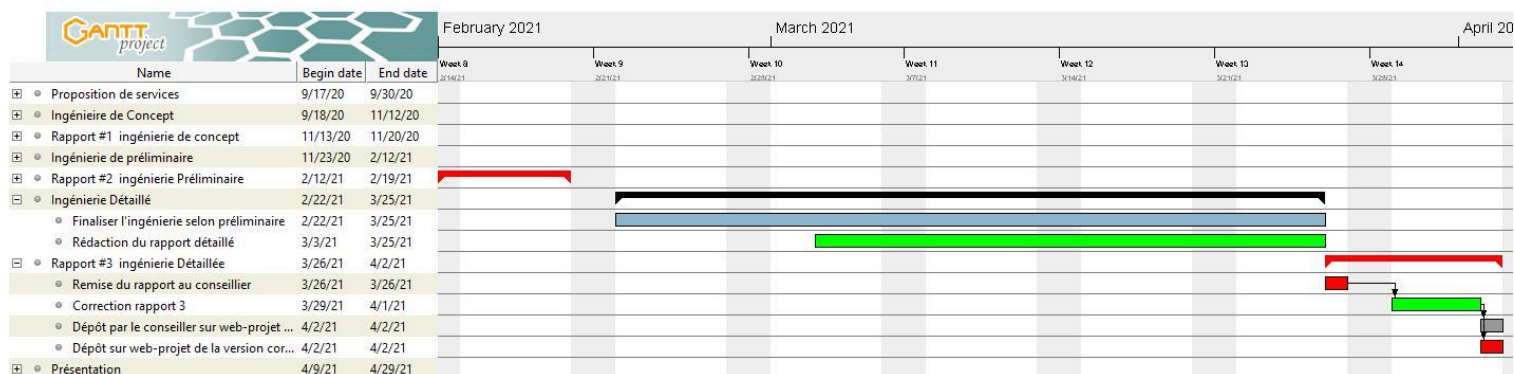
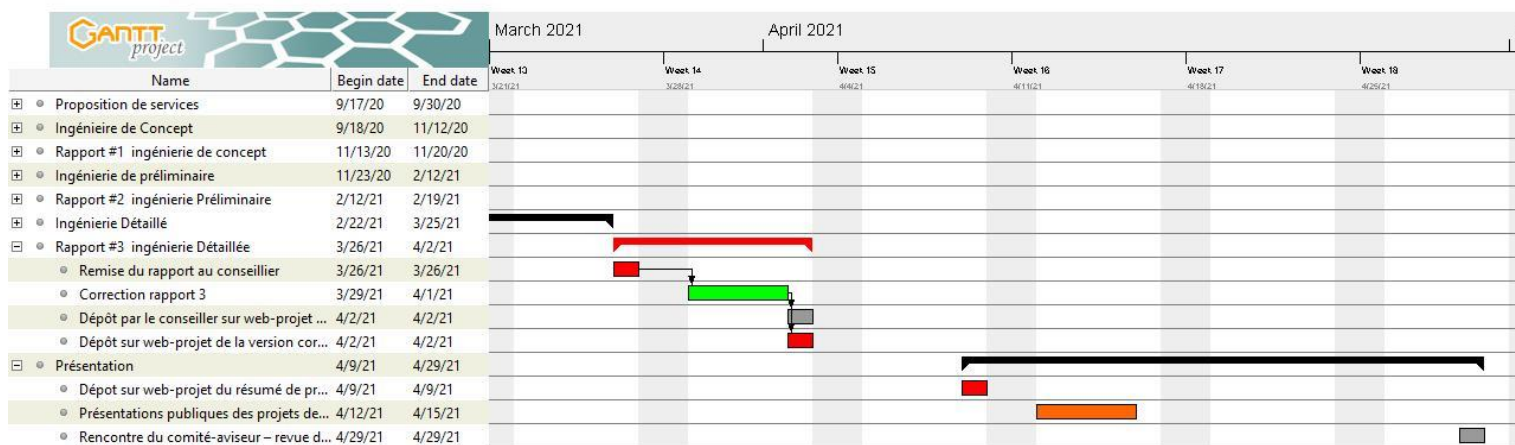


Figure 2: Échéancier ingénierie préliminaire





**Figure 5:Échéancier d'ingénierie détaillé**



**Figure 4: Échéancier de remis et présentation**

## 11. Références

- [1] RoboCup. "Pushing the State-Of-The-Art." RoboCup. <https://www.robocup.org/objective> (accessed 7/30/2020).
- [2] FIRA. "Visitors Page." FIRA. <https://www.firaworldcup.org/VisitorPages/Show.aspx?ItemID=886.0> (accessed 9/30, 2020).
- [3] R. Junior. "Robocup Junior." <https://junior.robocup.org/about/> (accessed 09/30, 2020).
- [4] R.-. Humanoid. "RoboCupSoccer - Humanoid." <https://www.robocup.org/leagues/3> (accessed 9/30, 2020).
- [5] R.-S. Platform. "RoboCupSoccer - Standard Platform." <https://www.robocup.org/leagues/5> (accessed 30/9, 2020).
- [6] RoboCup. "Soccer - Middle Size." <https://www.robocup.org/leagues/6> (accessed 9/30, 2020).
- [7] RoboCup. "RoboCupSoccer - Small Size." RoboCup. <https://www.robocup.org/leagues/7> (accessed 9/30, 2020).
- [8] RoboCup. "RoboCupSoccer - Simulation." <https://www.robocup.org/leagues/23> (accessed 30/9, 2020).
- [9] ISO/IEC TR 29110-1:2016 — *Systems and software engineering — Lifecycle profiles for Very Small Entities (VSEs) — Part 1: Overview*, 2016.
- [10] E. S. T. A. R. L. G. Guerra. Regulation of Artificial Intelligence: The Americas and the Caribbean (2017). *Stratégie pancanadienne en matière d'intelligence artificielle*. [Online] Available: <https://www.cifar.ca/fr/ia/strategie-pancanadienne-en-matiere-dintelligence-artificielle>
- [12] ISO 13850:2015 - *Safety of machinery — Emergency stop function — Principles for design*, Norme.
- [13] ISO 13849-1:2015 -- *Safety of machinery — Safety-related parts of control systems — Part 1: General principles for design*, I.-I. O. f. Standardization, 2015.
- [14] ISO 13849-2:2012 -- *Safety of machinery — Safety-related parts of control systems — Part 2: Validation*, 2018.
- [15] ISO/WD 13855 -- *Safety of machinery — Positioning of safeguards with respect to the approach of the human body*, 2015.
- [16] CAN/CSA-Z434-14 (R2019) *Safety requirements for industrial robots - Part 1: Robots*, CSA, 2019.
- [17] S. Taherizadeh, A. C. Jones, I. Taylor, Z. Zhao, and V. Stankovski, "Monitoring self-adaptive applications within edge computing frameworks: A state-of-the-art review," *Journal of Systems and Software*, vol. 136, pp. 19-38, 2018/02/01/ 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jss.2017.10.033>.
- [18] G2. "Best Cloud Platform as a Service (PaaS) Software." G2. <https://www.g2.com/categories/cloud-platform-as-a-service-paas> (accessed 9/26/2020).