



## Livrable 2 - Robot Kinocto

### Design III

présenté à

**M. Dominique Grenier, M. Luc Lamontagne et M. Abdelhakim Bendada**

<i>matricule</i>	<i>nom</i>
910 058 073	Émile Arsenault
908 190 985	Philippe Bourdages
910 098 468	Pierre-Luc Buhler
998 107 355	Diane Fournier
908 159 170	Imane Mouhtij
908 318 388	Olivier Sylvain
910 055 897	Daniel Thibodeau
910 097 879	Francis Valois

Université Laval  
7 mars 2013

# **Chapitre 1**

## **Introduction**

Ce rapport présente la première phase de développement entourant le projet Kinocto. Les entrées et sorties (tâches) associées à la conception du robot sont mises en perspective dans le diagramme de contexte (voir section ??). Les exigences et les fonctionnalités issues de la présentation du projet par le client sont liées à travers le diagramme des propriétés fonctionnelles, présenté à la section 10.

## Chapitre 2

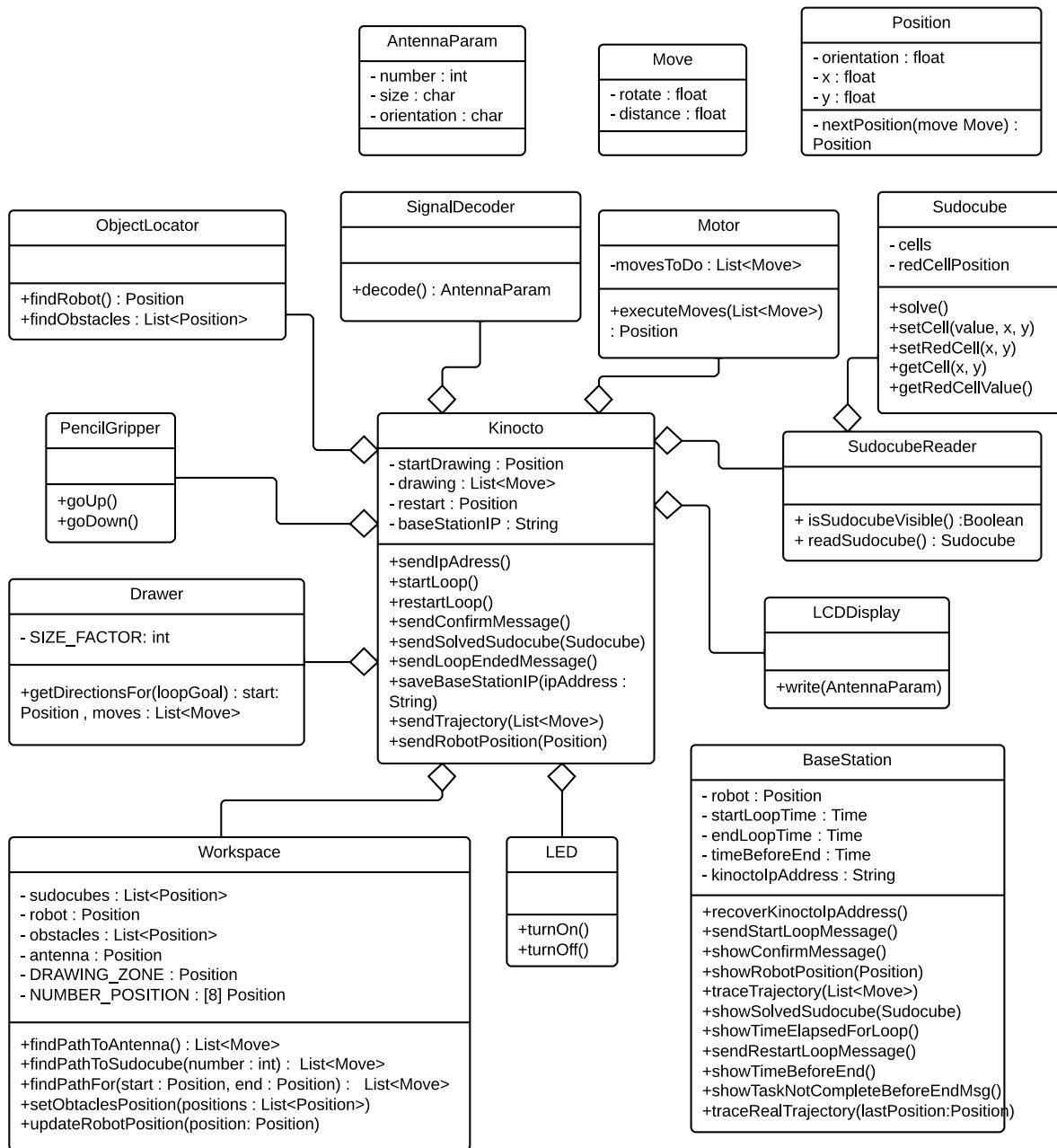
### Diagramme des fonctionnalités

# Chapitre 3

## Diagramme physique

# Chapitre 4

## Diagrammes de classes



# Chapitre 5

## Diagrammes de séquences

Ce chapitre présente les différentes figures associées au diagramme des séquences. Ce diagramme est séparé selon cinq portions relatives aux fonctions particulières du robot. La figure 5.1 présente les liens entre l'utilisateur et la kinocto. La figure 5.2 présente les liens entre la kinocto et son environnement afin de déterminer sa position. La figure 5.3 présente les liens entre la kinocto et la station de base pour la transmission et l'affichage de la trajectoire optimale. La figure 5.4 présente les liens entre la kinocto et la table de jeu dans l'optique du déplacement de celle-ci à travers les obstacles vers la zone de lecture ainsi que les liens avec la résolution du sudocube. La figure 5.5 présente les liens entre la kinocto et ses différents périphériques lors de la production du dessin et de la confirmation de la résolution de la tâche.

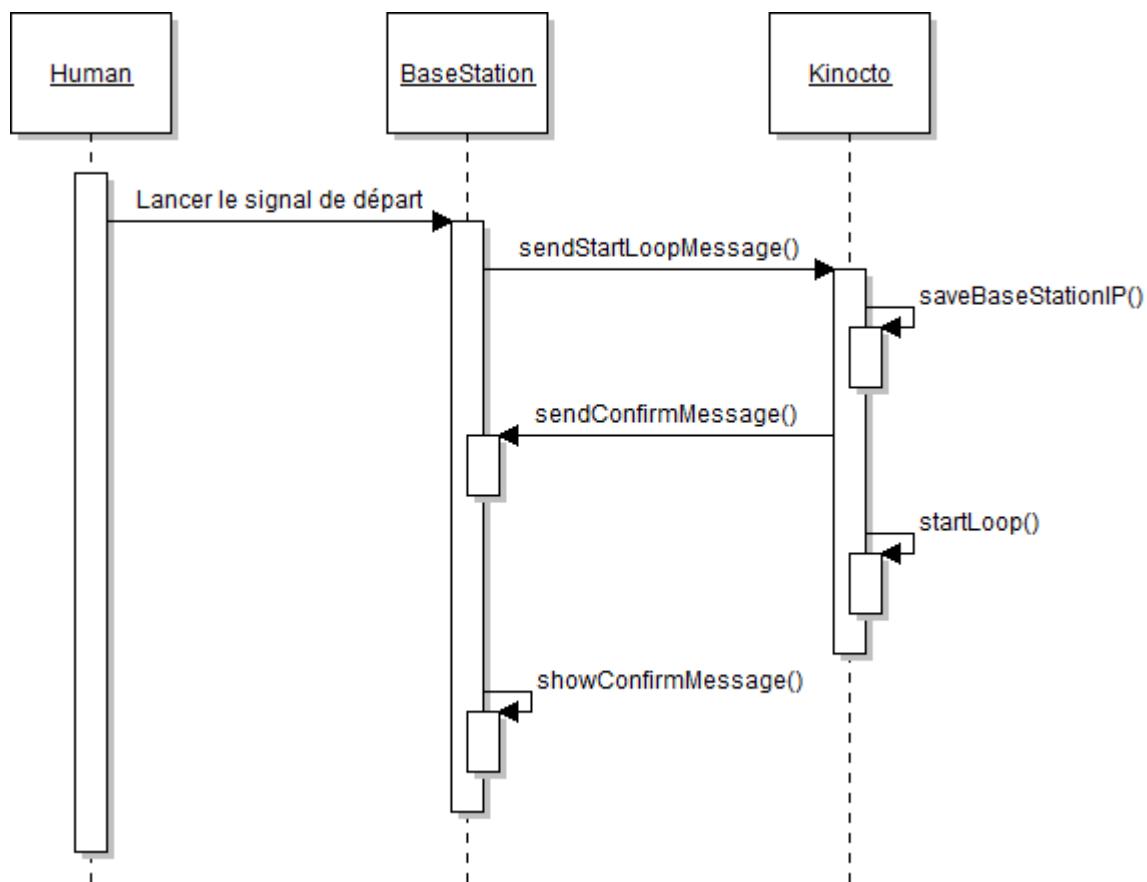


Figure 5.1 – Diagramme des séquences présentant les liens entre l'utilisateur et la kinocto

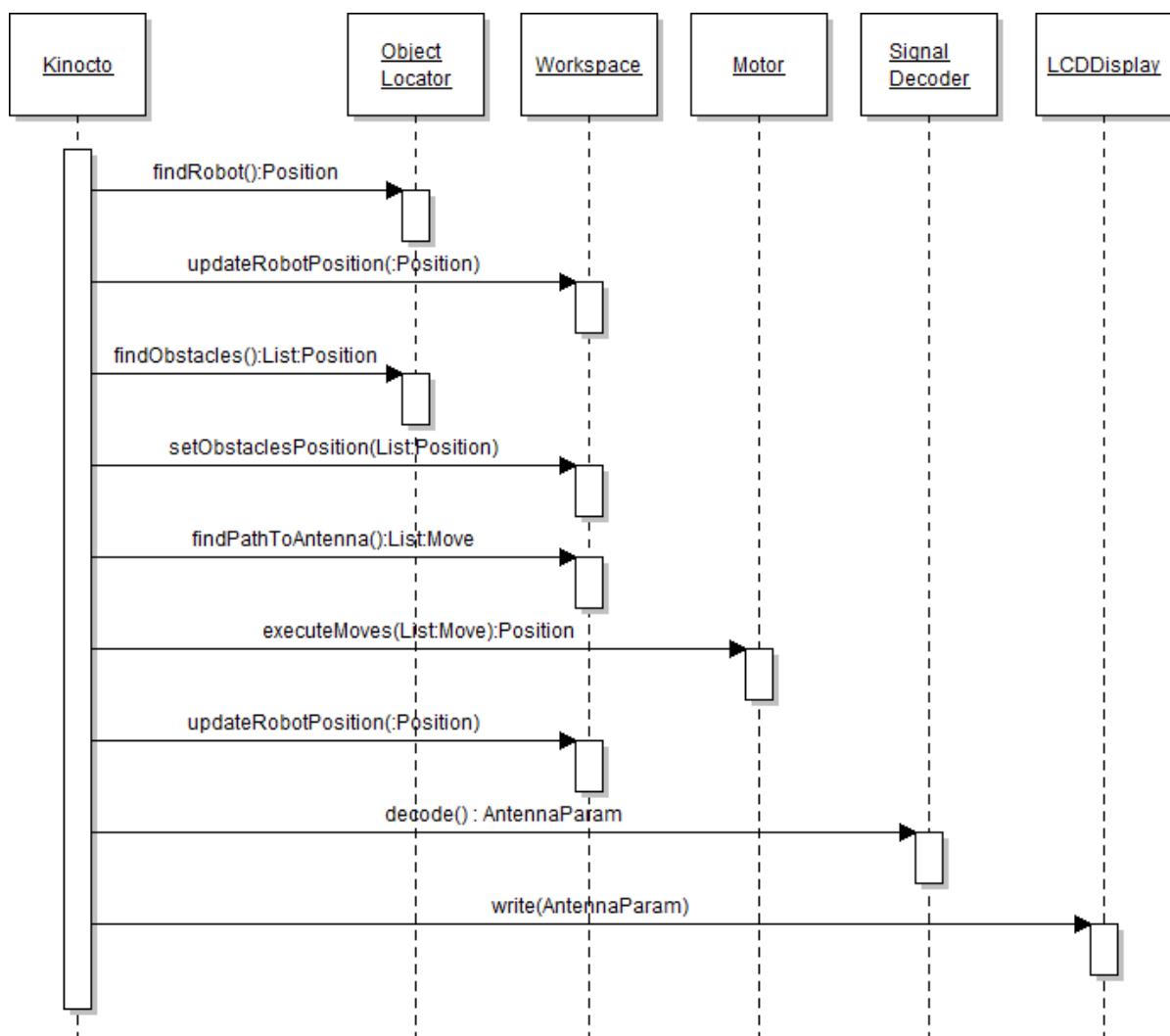


Figure 5.2 – Diagramme des séquences présentant les liens entre la *kinocto* et son environnement afin de déterminer sa position

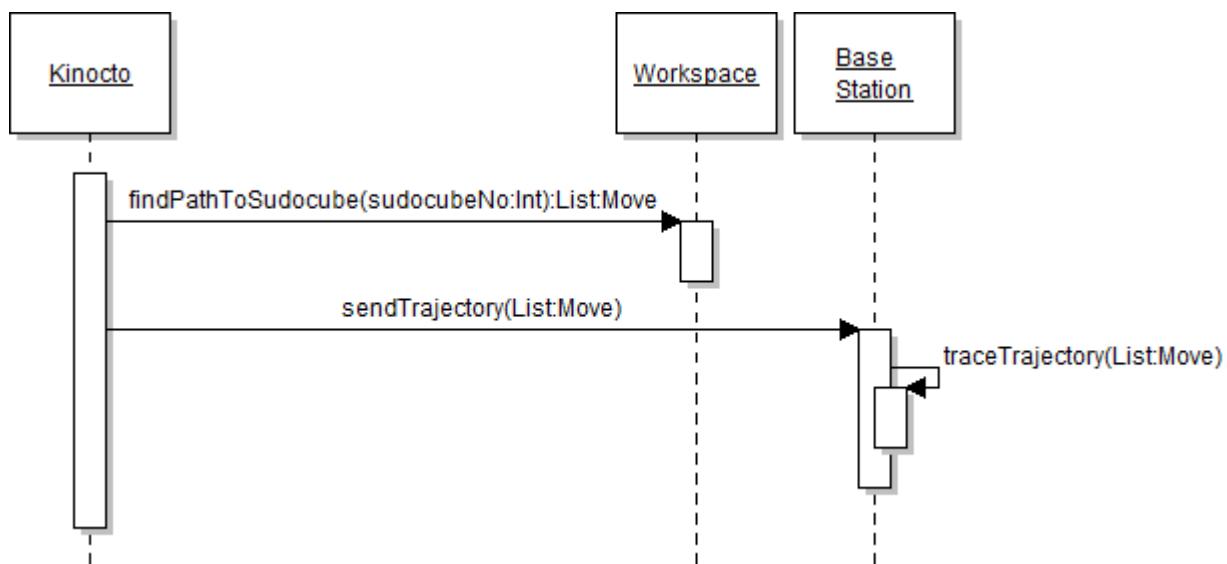
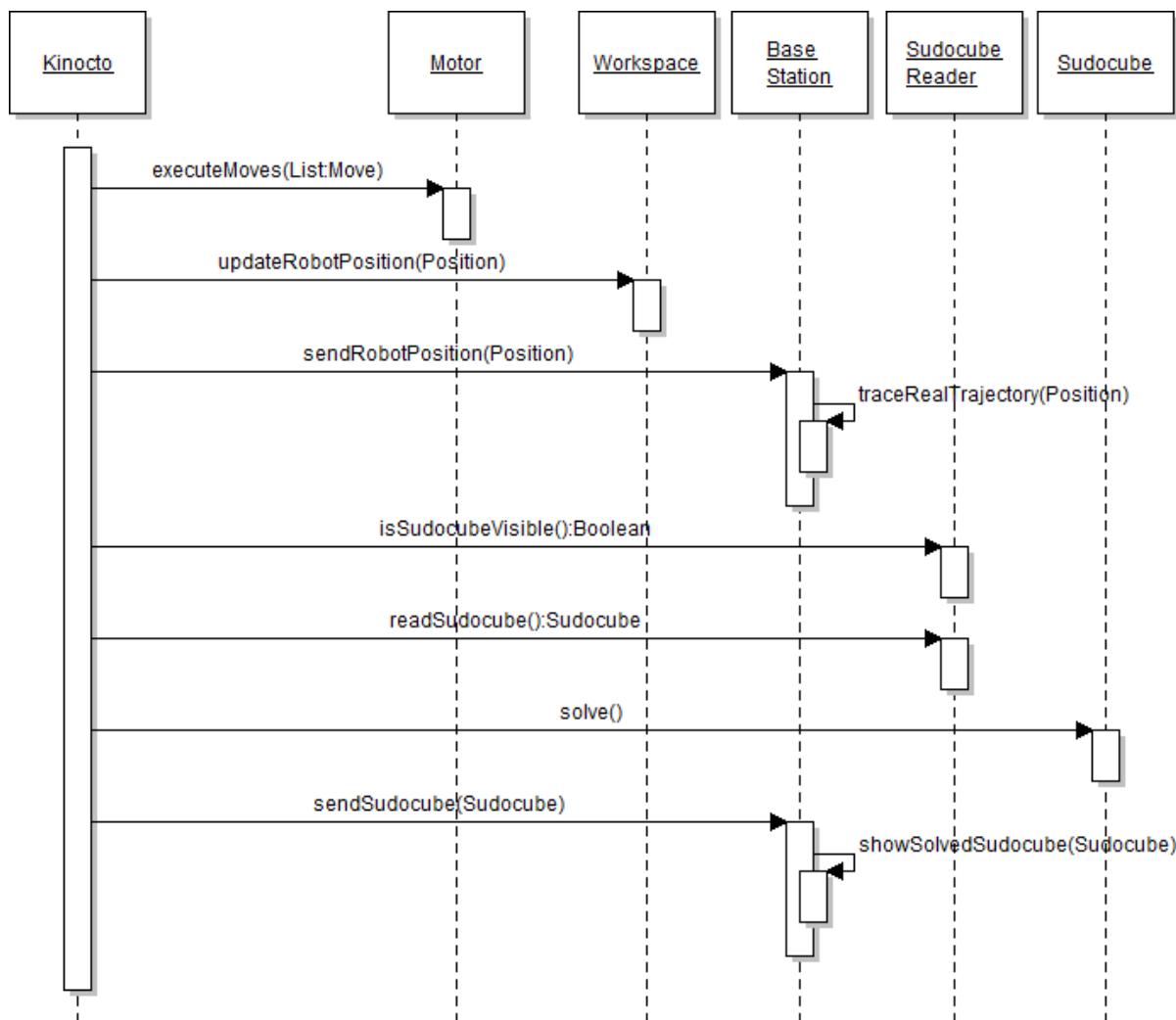


Figure 5.3 – Diagramme des séquences présentant les liens entre la kinocto et la station de base pour la transmission et l'affichage de la trajectoire optimale



*Figure 5.4 – Diagramme des séquences présentant les liens entre la kinocto et la table de jeu dans l'optique du déplacement de celle-ci à travers les obstacles vers la zone de lecture ainsi que les liens avec la résolution du sudocube*

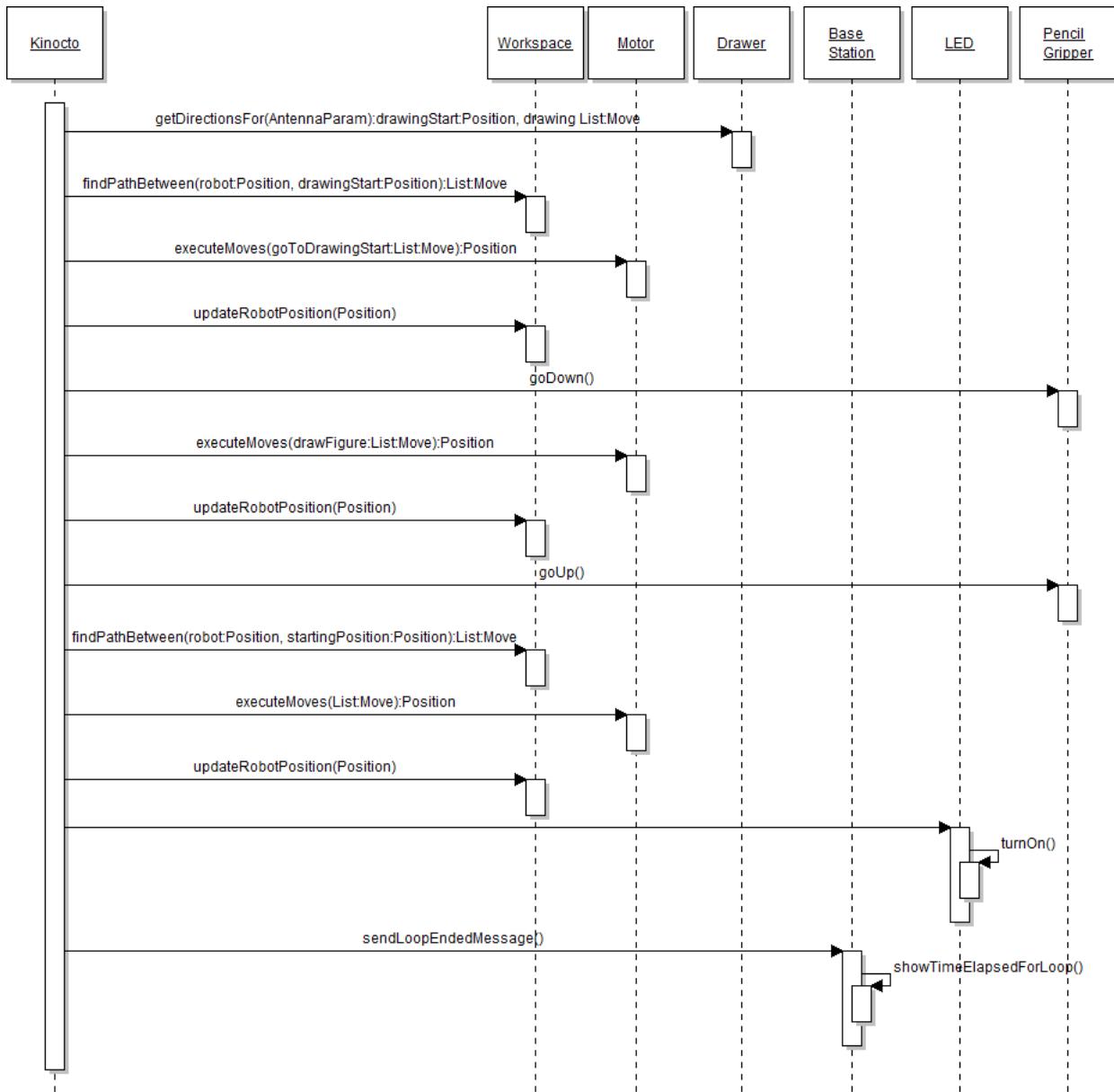


Figure 5.5 – Diagramme des séquences présentant les liens entre la kinoclo et ses différents périphériques lors de la production du dessin et de la confirmation de la résolution de la tâche

# Chapitre 6

## Registre de risques

Tableau 6.1 – Registre de risques partie 1

Risque	Type de risque	Niveau de priorité (1-faible, 5-élevé)	Conséquences de l'occurrence du risque	Coût en performance associé au risque	Prob. d'occurrence (%)	Coût estimé du risque (\$)	Plan de réduction du risque	Responsable du risque
1	Bris de la batterie Li-Po suite à une mauvaise utilisation	5	Plus d'autonomie énergétique pour le robot, opération impossible	L'ensemble du système sera inopérable	15	60	Formation des utilisateurs à l'endroit de l'utilisation. Apposition d'un capteur de tension. Dispositifs de protection (fusibles)	É. Arsenault
2	Bris d'un ou des systèmes d'alimentation	5	Les systèmes auxiliaires, le Mac mini ou les moteurs ne seront pas alimentés. Le système ne sera pas fonctionnel	Une partie ou l'ensemble du système sera inopérable	20	25	Utilisateur de connecteurs protégés (d'un seul sens possible). Dispositifs de protection (fusibles), surdimensionnement des composantes d'alimentation	D. Thibodeau
3	Bris du crayon lors du dessin	4	Le dessin ne pourra être complété	La portion dessin sera partiellement complète	20	2	Tests rigoureux et optimisation du choix de crayon avant la compétition	É. Arsenault
4	Bris du système de préhension	5	Le dessin ne pourra être complété et selon le moment du bris, la trajectoire du robot peut être affectée	La portion dessin sera partiellement complète et la trajectoire sera déviée	5	10	Tests rigoureux et essais multiples pour vérifier la stabilité en température lors du fonctionnement	É. Arsenault
5	Problèmes d'alimentation électrique (surtension ou baisse de tension, surchauffe ou ondulation importante)	4	Une surtension importante pourrait être destructrice pour le Mac mini ou le microcontrôleur, une surchauffe causerait un bris des systèmes d'alimentation et une ondulation importante pourrait rendre le système instable	Conséquences des risques 1 et 2 en plus de bris du Mac mini ou du microcontrôleur	10	100	Tests rigoureux et essais multiples pour vérifier la stabilité en température, en tension et en courant lors du fonctionnement	D. Thibodeau

Tableau 6.2 – Registre de risques partie 2

Risque	Type de risque	Niveau de priorité (1-faible, 5-élevé)	Conséquences de l'occurrence du risque	Coût en performance associé au risque	Prob. d'occurrence (%)	Coût estimé du risque (\$)	Plan de réduction du risque	Responsable du risque
6	Problèmes de réception ou de décodage du signal d'antenne	4	Si la réception est erronée, le robot peut exécuter sa séquence, mais l'exécution ne sera pas conforme au message. Si la réception est impossible, le système ne s'amorcera pas.	Accomplissement de la mauvaise tâche ou système non fonctionnel	5	15	Tests répétés pour un taux de succès de 100% lors de la réception et du décodage.	D.Fournier
7	Problème d'identification du robot et de l'environnement (vision) par la Kinect	5	Correction de la trajectoire erronée, risque de rencontrer les obstacles, mauvaise trajectoire calculée	La trajectoire réelle ne sera pas optimale et le robot risque de rencontrer des obstacles	10		Tests rigoureux et taux de succès de l'identification proche de 100%	I. Mouhtij
8	Problème de détection des chiffres et de représentation du sudo cube	5	Erreur dans la résolution du sudo cube (mauvais chiffres à la base)	Le chiffre dessiné ne sera pas le bon	5		Tests répétés pour un taux de succès de près de 100% lors de la détection des chiffres	P. Bourdages
9	Problème de résolution du sudo cube	5	Erreur dans la résolution du sudo cube, emballlement de l'algorithme et arrêt de la tâche	Le chiffre dessiné ne sera pas le bon, le robot peut arrêter sa séquence d'opération avant le moment prévu	15		Tests répétés pour un taux de succès de près de 100% lors de la résolution du cube	O. Sylvain
10	Problème de communication entre le Mac mini et la station de base	5	Les informations requises ne pourront être transmises correctement, on perd l'information sur le comportement du robot ainsi que sa position. Le robot ne pourra pas se localiser initialement et en temps réel.	Le robot ne remplira pas les exigences d'affichage sur la station de base, le robot ne recevra aucune position de la Kinect	5		Tests répétés pour un taux de succès de près de 100% lors de la transmission et de la réception de l'information en temps réel entre le Mac mini et la station de base	P. Bourdages

Tableau 6.3 – Registre de risques partie 3

Risque	Type de risque	Niveau de priorité (1-faible, 5-élevé)	Conséquences de l'occurrence du risque	Coût en performance associé au risque	Prob. d'occurrence (%)	Coût estimé du risque (\$)	Plan de réduction du risque	Responsable du risque
11	Problème de communication entre le Mac mini et le microcontrôleur	5	L'ensemble des auxiliaires ne fonctionnera pas correctement. Le système sera non fonctionnel	Robot incapable de se déplacer selon la trajectoire prévue et d'effectuer la tâche	5		Tests répétés pour un taux de succès de près de 100% lors de la transmission et de la réception de l'information entre le Mac mini et le microcontrôleur	D. Fournier
12	Asservissement des moteurs déficient	3	Un asservissement instable causera des dépassemens ainsi que des oscillations importantes de vitesse dans les roues. Dans le pire des cas, le robot sera incontrôlable.	Robot plus lent ou incapable de se déplacer, hausse du risque de toucher les obstacles, système non fonctionnel	10		Tests rigoureux dans le plus de conditions différentes possibles. Maximiser la robustesse en optant pour un asservissement avec une marge de phase élevé et bande passante assurant la stabilité.	P. Buhler
13	Contact avec un ou des obstacles	3	Bris du système et déviation de trajectoire possible	Un robot qui entre en contact avec les obstacles ne remplit pas les exigences du projet	20		Tests rigoureux sur les déplacements et marge de sécurité importante pour le contournement.	O. Sylvain
14	Bris d'une portion ou de la totalité du microcontrôleur	4	Le bris d'une portion du microcontrôleur empêche l'exécution de la tâche dans son ensemble et peut occasionner des bris dans les systèmes reliés	Un robot qui ne peut pas se déplacer correctement, qui n'allume pas la DEL ou qui n'active pas le préhenseur	5	100	Isolation des entrées et sorties avec des dispositifs de protection (diode), limiteur de courant	D. Fournier
15	Bris du pont en H	5	Les moteurs ne pourront être commandés correctement	Le robot ne peut pas se déplacer, le système n'est pas fonctionnel	5	130	Utilisation d'un régulateur de type PID afin d'éviter les appels brusques de courants, positionnement du pont de manière à limiter son exposition aux accrochages	F. Valois

Tableau 6.4 – Registre de risques partie 4

Risque	Type de risque	Niveau de priorité (1-faible, 5-élévé)	Conséquences de l'occurrence du risque	Coût en performance associé au risque	Prob. d'occurrence (%)	Coût estimé du risque (\$)	Plan de réduction du risque	Responsable du risque
16	Bris du Mac mini	5	L'ensemble des auxiliaires ne fonctionnera pas correctement. Le système sera non fonctionnel	Robot incapable de se déplacer selon la trajectoire prévue et d'effectuer la tâche	5	600	Apposition de protections électriques (fusibles et interrupteurs) sur l'étage d'alimentation du Mac mini. Fixation robuste du Mac mini sur le robot. Protection du port USB du Mac mini en n'utilisant pas le fil d'alimentation.	F. Valois
17	Bris du système d'exploitation du Mac mini	4	La portion logicielle du robot et le traitement seront absents. Le système ne sera pas fonctionnel	Robot incapable d'accomplir un traitement de tâches	30		Clonage d'une version fonctionnelle et stable du système d'exploitation	P. Buhler
18	Caméra web désaxée	3	Les prises de données du sudo cube seront affectées	L'acquisition des données du sudo cube pourrait être non fonctionnelle et causer une erreur dans la résolution du cube	10		Tests rigoureux d'asservissement de la caméra et de retour à l'axe désiré suivant une modification externe.	P. Buhler
19	Bris de la caméra web	4	Le bris de la caméra empêche la vision des cubes	Si la caméra ne peut voir le sudo cube, on ne peut trouver le chiffre dans la case rouge et effectuer le bon dessin	5	80	Storage adéquat de la caméra, protection d'alimentation (fusible), limiter les chocs contre les obstacles	D. Thibodeau
20	Problème lors du calcul de la trajectoire optimale «pathfinding»	3	La trajectoire trouvée est erronée ou n'est pas optimale	Une trajectoire erronée peut conduire à rencontrer les obstacles ou à être dans l'incapacité de compléter le trajet. Comme il est exigé un calcul de trajectoire optimale, une trajectoire ne l'étant pas est un manque à ce niveau	15		Tests unitaires et vérifications nombreuses, sous plusieurs contraintes.	O. Sylvain

# **Chapitre 7**

## **Plan de tests**

Tableau 7.1 – Plan de tests côté matériel (partie 1)

Fonctionnalité	Sous-fonctionnalité	Exigence	Méthode de vérification	Équipement requis	Méthode d'analyse
Traitement numérique	Contrôler le robot pour le dessin	Précision de $\pm 1\text{cm}$ de la ligne centrale	Tests pratiques	Robot fonctionnel	Effectuer l'ensemble des dessins 3 fois et mesurer l'écart maximal
				Ruban à mesurer	
				Gabarits des dessins	
				Crayon	
Déplacement	Se déplacer sans toucher aux obstacles	Distance minimale de 1cm par rapport à l'axe de la trajectoire et vitesse supérieure à 3cm/s	Tests pratiques	Robot fonctionnel	Vérifier la déviation maximale ainsi que la vitesse moyenne pour une dizaine de trajectoires différentes
				Ruban à mesurer	
				Crayon	
				Rapporteur d'angle	
Alimentation	Alimenter le mac-mini et le préhenseur à une tension de 24 volts	Fournir une tension de 24 volts CC avec des oscillations maximum de 1 volt	Tests de mesure	Mac mini	Vérifier la tension moyenne à la sortie de l'alimentation et l'amplitude des oscillations qui y sont superposées sur l'oscilloscope
				Oscilloscope	
				Sondes de mesure	
				Robot fonctionnel	
Alimentation	Alimenter le micro-contrôleur et les différents circuits à une tension de 5 volts	Fournir une tension de 5 volts CC avec des oscillations maximum de 0.2 volt	Tests de mesure	Oscilloscope	Vérifier la tension moyenne à la sortie de l'alimentation et l'amplitude des oscillations qui y sont superposées sur l'oscilloscope
				Sondes de mesure	
				Robot fonctionnel	
				Oscilloscope	
Récepteur manchester	Recevoir le signal manchester et le rendre utilisable par le micro-contrôleur	Fournir un signal carré 0-5 volts à l'image du signal reçu	Tests de mesure	Antenne fonctionnelle	Vérifier la présence du signal carré en sortie du module de réception lorsque le robot est à proximité de l'antenne
				Sondes de mesure	
				Robot fonctionnel	
				Oscilloscope	
Préhenseur	Monter et descendre le crayon pour passer en mode écriture ou arrêt d'écriture	Descendre le crayon lorsqu'une commande 5V est appliquée et le remonté lorsque la commande 0V est appliquée	Test pratique	Antenne fonctionnelle	Vérifier que le crayon descend lorsqu'on applique la commande de 5V au circuit et qu'il remonte lorsqu'on la relâche
				Sondes de mesure	
				Robot fonctionnel	
				Source 24V CC	
Allumer la DEL	Allumer la DEL lorsque la commande est appliquée	Allumer la DEL lorsque 5V est appliqué à son circuit et l'éteindre lorsqu'on relâche la commande	Test électrique	Robot fonctionnel	Vérifier que la DEL verte allume lorsqu'on applique une commande de 5V à son circuit
				Source 5V CC	
				Robot fonctionnel	
				Robot fonctionnel	
Positionnement de la caméra	Garder la camera en position malgré les perturbations extérieures	Replacer la camera à sa position de départ lorsqu'on allume l'alimentation 5V	Test de manipulation	Robot fonctionnel	Déplacer la camera lorsque l'alimentation est fermé et vérifier qu'elle reprend sa position lorsqu'on actionne l'alimentation 5V

Tableau 7.2 – Plan de tests côté matériel (partie 2)

Fonctionnalité	Sous-fonctionnalité	Exigence	Méthode de vérification	Équipement requis	Méthode d'analyse
Protections et interrupteurs	Protéger et interrompre les alimentations	Interrompre les trois alimentations individuellement	Test visuel et de manipulation	Robot fonctionnel	Vérifier que le témoin lumineux s'allume lorsqu'on actionne l'interrupteur de l'une des alimentations et vérifier visuellement que les filaments des fusibles sont intacts
Batterie	Alimenter les trois circuits d'alimentation	Fournir une puissance suffisante pour alimenter les trois circuits d'alimentation	Test électrique	Batterie Testeur de batterie	Vérifier à l'aide du testeur de batterie que la tension de chacune des trois cellule est au dessus de 3.7V
Communication Microcontrôleur - Mac mini	Transmettre les commandes du Mac mini vers le microcontrôleur via un port série	Être robuste au bruit causé par le fonctionnement des moteurs	Test pratique	Robot fonctionnel pour ses déplacements	Vérifier que les commandes passent du Mac mini au microcontrôleur et que les mécanismes de vérification et de gestion des erreurs de communication sont efficaces

# **Chapitre 8**

## **Matrice de vérification des exigences**

Tableau 8.1 – Matrice de vérification des exigences côté matériel

Fonctionnalité	Sous-fonctionnalité	Paramètre critique	Méthode de vérification	Commentaires
----------------	---------------------	--------------------	-------------------------	--------------

# Chapitre 9

## Plan d'intégration

# **Chapitre 10**

## **Description des propriétés fonctionnelles**

Pour simplifier la lecture du tableau de la description des propriétés fonctionnelles, celui-ci a été séparé en trois pages selon trois différentes sections : vision et traitement numérique (présenté dans le tableau 10.1), communication et déplacement (présenté dans le tableau 10.2) ainsi qu'alimentation et affichage (présenté dans le tableau 10.3).

Tableau 10.1 – Description des propriétés fonctionnelles : section "Vision et Traitement Numérique"

	Fonctionnalités							
	Vision numérique			Traitement numérique				
	DéTECTER obstacles	Localiser le robot	Lire le cube	Calculer la trajectoire optimale	Contrôler le robot pour le dessin		Décoder le signal d'antenne	Choisir le cube selon le signal d'antenne
Exigences du client	Temps de calcul (s)	Taux d'erreur (%)	Temps de calcul (s)	Temps de calcul (s)	Temps de calcul (s)	Taux d'erreur (%)		Temps de calcul (s)
Être autonome pendant un minimum de 10 minutes	3	2	5	2	3	3	2	4
Se déplacer selon la trajectoire optimale	5	5		5		3	3	3
Effectuer une séquence complète en moins de 10 minutes	5	5	5	5	5		3	3
Alimenter le Mac mini avec une tension de 22V à 30V et ondulation de tension inférieure à 200 mV								
Résoudre sudocube			5					5
Dessiner le chiffre selon le signal d'antenne dans une zone prédefinie (jaune) avec une précision de $\pm 1\text{cm}$					5			
Éviter les obstacles ainsi que les murs de la table	5	5		3				
Décoder le signal d'antenne						5		
Analyser le bon cube selon le signal d'antenne							5	5
Utiliser la communication sans fil								
Concevoir un système de préhension pour le crayon						3		
Afficher position réelle		5						
Afficher la trajectoire optimale	5	5		5		3	3	
Afficher le cube résolu et le chiffre de la case rouge sur la base			5					5
Allumer une DEL lorsque tâche terminée								
Afficher message de fin								
Afficher message de départ								
Afficher trajectoire réelle avec un délai maximum de 15s		5						
Afficher les informations sur le robot								
Le robot doit se retirer de la zone de dessin une fois celui-ci terminée								
Respecter un budget de 250\$						3		
Respecter l'échéancier	5	5	5	3	1	5	3	5

Tableau 10.2 – Description des propriétés fonctionnelles : section "Communication et Déplacement"

Exigences du client	Fonctionnalités								Déplacement	
	Communication									
	Recevoir le signal d'antenne	Communiquer entre le robot et la station de base	Communiquer entre le Mac mini et le microcontrôleur	Commander les moteurs	Transmettre les images de la Kinect vers le Mac	Transmettre les images de la caméra vers le Mac	Contrôler la position de la caméra	Commander le préhenseur du crayon		
Vitesse (Mo/s)	Vitesse (bits/s)								Résolution (Degree)	
Être autonome pendant un minimum de 10 minutes	4	3	5	5	5	5	1	4	3	
Se déplacer selon la trajectoire optimale	3		3	5	5	2			5	
Effectuer une séquence complète en moins de 10 minutes	5		3	4	5				5	
Alimenter le Mac mini avec une tension de 22V à 30V et une ondulation de tension inférieure à 200 mV										
Résoudre sudocube						3	1			
Dessiner le chiffre selon le signal d'antenne dans une zone prédéfinie (jaune) avec une précision de $\pm 1\text{cm}$			5	5	3			5	5	
Éviter les obstacles ainsi que les murs de la table			5	3	5	4			5	
Décoder le signal d'antenne			2							
Analyser le bon cube selon le signal d'antenne	5	5			5					
Utiliser la communication sans fil		5			5					
Concevoir un système de préhension pour le crayon								5		
Afficher position réelle		5	5		5					
Afficher la trajectoire optimale	3	5	3		5					
Afficher le cube résolu et le chiffre de la case rouge sur la base		5				3				
Allumer une DEL lorsque tâche terminée			5							
Afficher message de fin		5								
Afficher message de départ		5								
Afficher trajectoire réelle avec un délai maximum de 15s		5	5		5					
Afficher les informations sur le robot			5							
Le robot doit se retirer de la zone de dessin une fois celui-ci terminée			5	5					5	
Respecter un budget de 250\$	3	3	1	5				2		
Respecter l'échéance	3	3	3	5	5	3	1	5	3	

Tableau 10.3 – Description des propriétés fonctionnelles : section "Alimentation et affichage"

Exigences du client	Fonctionnalités									
	Alimentation				Affichage					
	Utiliser une pile rechargeable	Alimenter les moteurs	Alimenter le Mac	Alimenter les différents périphériques	Afficher message d'initiation de la tâche	Afficher le cube résolu ainsi que la case rouse	Allumer la DEL lorsque tâche complétée	Afficher la trajectoire optimale	Afficher la position réelle	Afficher message de fin
Puissance (W)	Ondulation de tension (V)	Temps d'actualisation (s)								
Étre autonome pendant un minimum de 10 minutes	5	3	3	3						
Se déplacer selon la trajectoire optimale	5	5	5	3						
Effectuer une séquence complète en moins de 10 minutes	5	5	5	5						
Alimenter le Mac mini avec une tension de 22V à 30V et une ondulation de tension inférieure à 200 mV	5		5	5						
Résoudre sudocube	5		5	5						
Dessiner le chiffre selon le signal d'antenne dans une zone prédéfinie (jaune) avec une précision de $\pm 1\text{cm}$	3	3	3	3						
Éviter les obstacles ainsi que les murs de la table	3	3	3	3						
Décoder le signal d'antenne	5		3	5						3
Analyser le bon cube selon le signal d'antenne	5		1	3	3	3	3			
Utiliser la communication sans fil										
Concevoir un système de préhension pour le crayon										
Afficher position réelle			3	3				5		5
Afficher la trajectoire optimale	3		1	3			5			
Afficher le cube résolu et le chiffre de la case rouge sur la base	1		1			3				
Allumer une DEL lorsque tâche terminée	3		3	5			5			
Afficher message de fin	3		3					5		
Afficher message de départ	3		3		5					
Afficher trajectoire réelle avec un délai maximum de 15s			3	3				5		
Afficher les informations sur le robot	3			3						5
Le robot doit se retirer de la zone de dessin une fois celui-ci terminée	3	5	5	5						
Respecter un budget de 250\$	5	2	3	5						
Respecter l'échéance	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1

# Chapitre 11

## Développement logiciel

# **Chapitre 12**

## **Test unitaires**

# Chapitre 13

## Avancements pratiques

Cette section décrit les avancements dans la conception et dans la construction du système Kinocto.

### 13.1 Alimentation des périphériques 5V

L'alimentation employée pour les périphériques est une alimentation de type buck qui convertit la tension de la batterie (11.1V) vers une tension usuelle de 5V. Cette alimentation utilise un hacheur de tension avec une fréquence autour de 50kHz. Cette fréquence procure une marge de sécurité par rapport à la fréquence d'antenne et évite l'ajout d'un bruit excessif. Cette alimentation a été réalisée avec succès, les plans sont présentés à la figure ???. Une photo de ladite alimentation est présentée à la figure ???.

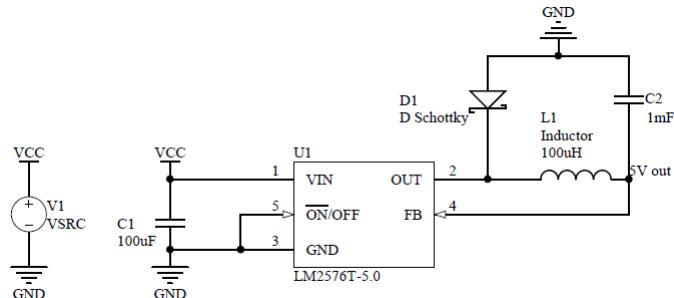


Figure 13.1 – Figure présentant les plans de l'alimentation 5V pour les périphériques

### 13.2 Alimentation du Mac mini

L'alimentation du Mac mini a été réalisé au moyen d'un circuit de type Boost réglable, acheté déjà monté. Les plans ne sont pas disponibles, mais une photo du dispositif l'est à la figure ???.

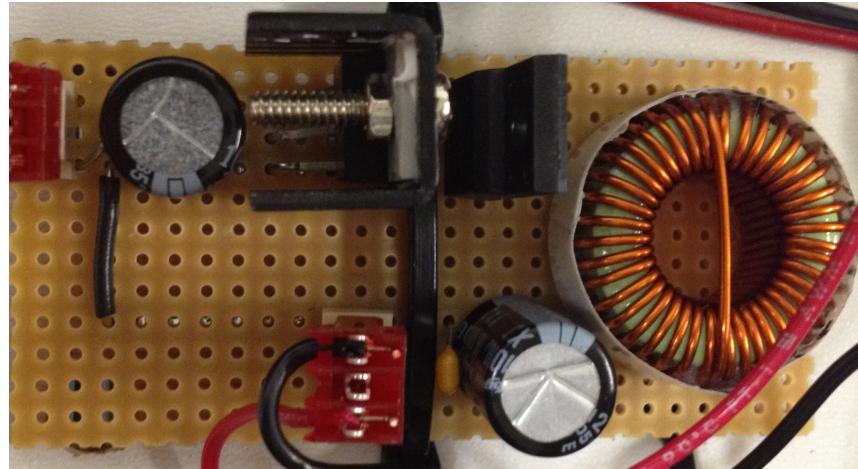


Figure 13.2 – Figure présentant une photo de l'alimentation 5V pour les périphériques

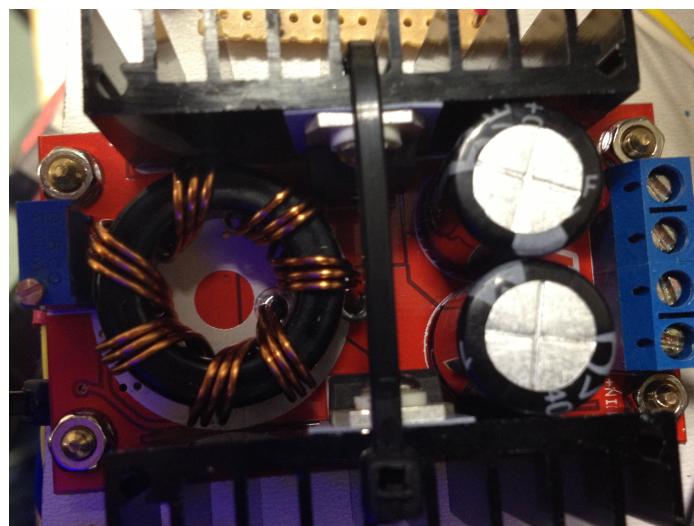


Figure 13.3 – Figure présentant une photo de l'alimentation 24V pour les périphériques

## 13.3 Asservissement des moteurs

### 13.3.1 Modélisation

L'optimisation des paramètres de réglage a été réalisée grâce à l'utilisation d'un outil de CAO élaboré au moyen de Matlab-Simulink. La fonction de transfert des moteurs a été identifiée au moyen d'une réponse à l'échelon et de l'outil *ident* de Matlab. L'ordre choisi de la fonction est élevé et présente une concordance de 94% avec la réponse obtenue expérimentalement. L'outil *pidtool* permet par la suite de configurer adéquatement le PIDF et d'obtenir la réponse souhaitée et les paramètres associés. Suivant ces paramètres, le PIDF présent dans le microcontrôleur est ajusté.

L'usage de l'outil interactif permet d'optimiser la réponse et d'obtenir des paramètres de prérégagements qui limitent le nombre d'itérations. La réponse obtenue logiciellement est présentée à la figure ??

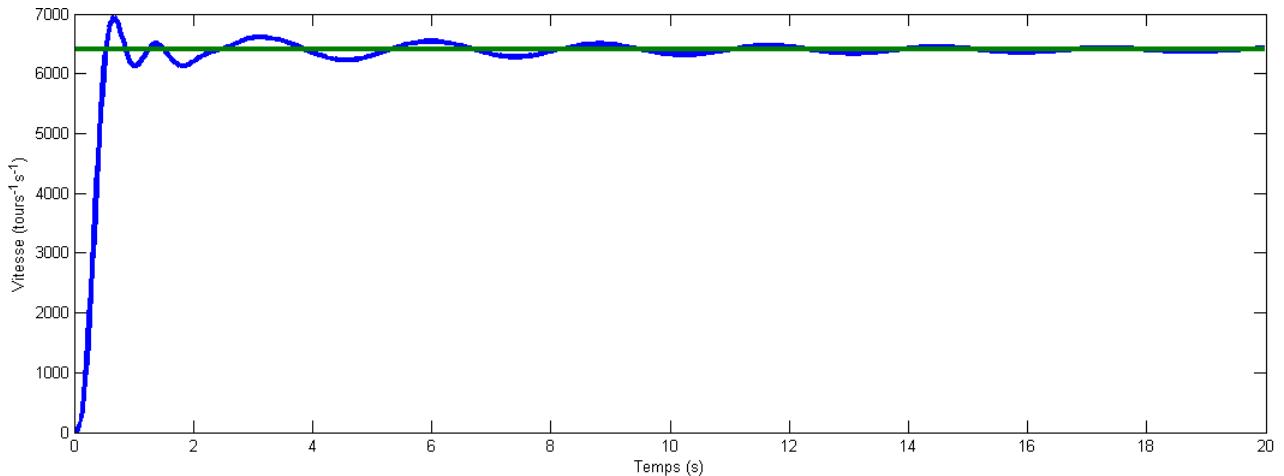
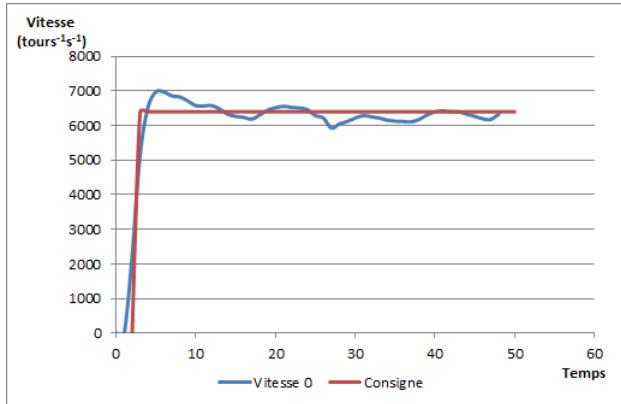


Figure 13.4 – Figure présentant la réponse à un échelon de consigne de  $6400[\text{tours}^{-1}\text{s}^{-1}]$  du système régulé au moyen du régulateur optimisé dans simulink

### 13.3.2 Implantation pratique

La réponse à un échelon de consigne de  $6400 (\text{tours}^{-1}\text{s}^{-1})$  avec les paramètres de réglage réels est présentée à la figure ???. À noter que les consignes en  $\text{tours}^{-1}\text{s}^{-1}$  indique la vitesse en nombre de  $1/6400$  de tours de roue. Cette fraction de tour est due au fait que les interfaces d'encodeurs en quadratures captent 6400 transitions par tour complet de roue (voir la sous-section 13.3.3.1 pour plus de détails). Le système a été implanté avec un asservissement en vitesse et sans asservissement de position. Les expériences pratiques réalisées montrent

que l'évolution de la position est linéaire, et ce, sans asservissement. La figure ?? présente ce phénomène pour une consigne de  $6400 \text{ (tours}^{-1}\text{s}^{-1}\text{)}$  qui vise à amener le système à une position de  $9100 \text{ tours}^{-1}$ . En utilisant les paramètres obtenus dans Matlab comme point de départ, les paramètres de réglages ont été modifiés de manière à obtenir des réponses remplissant les critères de stabilité, de vitesse et de dépassement souhaités. Afin d'améliorer la vitesse des déplacements, différents PID ont été ajustés selon différentes vitesses d'asservissement. On compte 3 de ces PID pour les déplacements unilatéraux et 1 déplacement réservé pour les mouvements reliés au dessin. La différence est que la vitesse de dessin est beaucoup plus basse que celle du déplacement usuel en vue de permettre une plus grande précision. Le moteur n'étant plus très linéaire à ces faibles vitesses (roulement et zone morte très limitants) et le système étant incapable de démarrer de lui même pour procéder à l'identification, le PID a donc été ajusté de manière manuelle, par itérations. Les PID sont fonctionnels et les systèmes stables, cependant, la décélération avant l'arrêt et le positionnement critique se font par l'entremise d'un palier de ralentissement à une vitesse intermédiaire avant freinage. Ces courbes de décélérations sont à mettre au point avant de pouvoir entamer le contrôle en dessin. Par ailleurs, les mouvements en diagonale ne sont pas encore parfaitement au point et requièrent quelques heures de travail additionnelles.



*Figure 13.5 – Figure présentant la réponse à un échelon de consigne de  $6400[\text{tours}^{-1}\text{s}^{-1}]$  du système régulé au moyen du régulateur réel et de la réponse en position associée*

### 13.3.3 Implantation électronique

#### 13.3.3.1 Les prises de mesures

Pour prendre des mesures de positions et de vitesses pour effectuer l'asservissement, nous utilisons deux QEI (Quadrature Encoder Interface) matériels qui sont sur le microcontrôleur. Ces deux interfaces prennent en entré les sorties des encodeurs situés sur les moteurs et captent les transitions lors de la rotation des moteurs. Puisqu'il y a deux senseurs placées en quadrature sur chaque moteurs, on peut détecter la direction de la rotation des moteurs. À

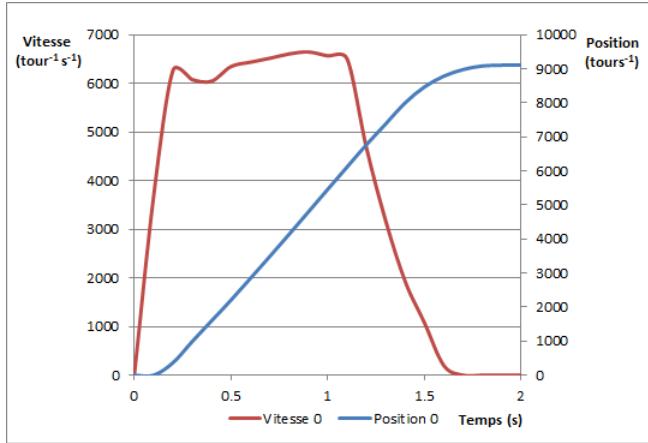


Figure 13.6 – Figure présentant la réponse à un échelon de consigne de  $6400[\text{tours}^{-1}\text{s}^{-1}]$  du système régulé au moyen du régulateur réel et de la réponse en position associée

prendre note qu'un signal transmis par un encodeur contient 64 transitions par tour complet de moteur et que le ratio de la rotation moteur :roue est 100 :1. Un signal transmis par un encodeur contient alors 6400 transitions pour une rotation complète de roue. Pour les deux autres moteurs, nous avons réalisé deux interfaces d'encodeurs en quadratures logicielles à l'aide de deux broches d'entrées/sorties par interface, de courtes interruptions et d'une machine à états. Les interruptions sont lancées lorsqu'une transition est détectée sur l'une des broches. L'état des broches est alors lu et sauvegardé pour être traitée par la machine à états. La machine à états utilisée est illustrée à la figure ???. Les 0 et 1 indiqués dans les cercles identifie l'état logique des broches. Les -1 ou +1 tracés au dessus des transitions indiquent s'il faut incrémenter ou décrémenter la position de la roue en rotation.

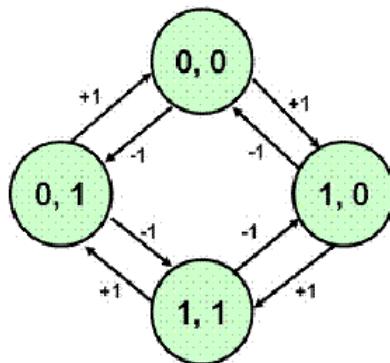


Figure 13.7 – Machine à états servant d'interface d'encodeur en quadrature (Cytron. Quadrature Encoder. <http://tutorial.cytron.com.my/2012/01/17/quadrature-encoder/>, consulté le 3 mars.)

### 13.3.3.2 PID

Le PID utilisé pour l'asservissement est une courte fonction réalisée dans le microcontrôleur. Cette fonction se retrouve dans l'annexe A.1.1. À prendre note que l'argument "I" est l'intégrale de l'erreur et "dt" est la différence en temps entre chaque exécution de l'asservissement des moteurs. Cette fonction est exécutée individuellement pour chaque moteur. Des pointeurs transmis en argument indiquent l'emplacement en mémoire des valeurs de chaque moteurs utilisées dans le PID. Ensuite, la fréquence d'exécution de la fonction est gardée constante à l'aide d'un timer dans le microcontrôleur qui déclenche une interruption à chaque période et lance l'exécution de l'asservissement.

### 13.3.3.3 Ajustement de la vitesse selon la positon

Comme indiqué précédemment, pour que le robot atteigne la consigne de position, la vitesse de la rotation des roues doit être ajustée selon la distance restante entre le robot et le point de destination. Cette ajustement est implanté par une simple multiplication d'un certains pourcentage avec la consigne de vitesse lorsque la distance restante à parcourir sera de " $X$   $tour^{-1}$ ". Le pourcentage utilisée présentement est hypothétique et sera ajusté lorsque les courbes de décélérations discutée dans la section 13.3.2 seront identifiées.

## 13.4 Servomoteurs de la Webcam

Pour contrôler les servomoteurs de la webcam, nous utilisons le contrôleur Micro Maestro de Pololu. Pour le programmer/configurer nous utilisons l'application "Maestro Control Center". Les servomoteurs et le Micro Maestro sont alimentés par l'alimentation 5V. De plus, les servomoteurs reprennent une position prédéterminée lorsque que ceux-ci et le Micro Maestro sont alimentés et restent fixes pour permettre à la Webcam de rester immobile même lorsque le robot est en mouvement. Prochainement, un script sera implanté dans le Micro Maestro à l'aide du "Maestro Control Center" pour transmettre par USB une commande du Mac Mini au contrôleur un changement de position des servomoteurs. Cela a pour but de changer l'angle de la Webcam par rapport au sol. Ce changement est nécessaire pour détecter l'orientation du robot.

## 13.5 Extraction des sudocubes

### 13.5.1 Composantes du système

L'algorithme pour extraire les sudocubes est séparé en deux : une classe qui traite une photo afin d'extraire les informations d'un sudocube et un lecteur de chiffres. L'extracteur de sudocubes passe des images au lecteur de chiffres afin d'identifier le chiffre présent.

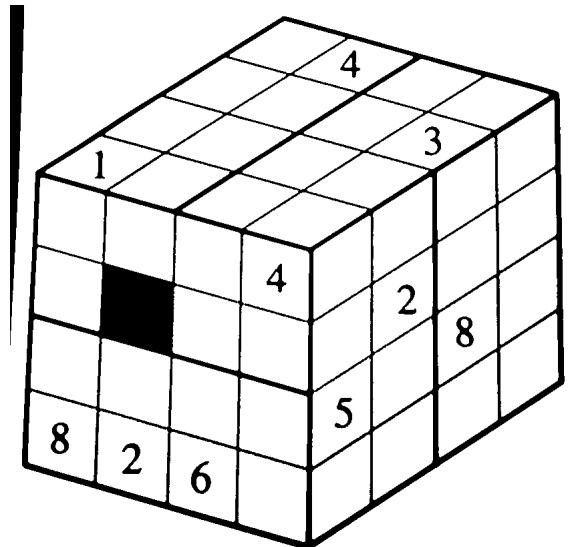


Figure 13.8 – Figure présentant un sudocube traité afin d'extraire les informations des cases



Figure 13.9 – Figure présentant un exemple d'images extraites des cases du sudocube et normalisées avant d'être passées au lecteur de chiffres

### 13.5.2 Les solutions retenus/considérés

Pour le lecteur de chiffres, deux solutions furent considérés : la librairie Tesseract et l'algorithme d'intelligence artificielle KNearest implanté dans la librairie OpenCV. Tesseract est une librairie qui permet de faire la lecture de caractères de plusieurs langues. Nous avons jugé que cette solution offre des fonctionnalités superflues en plus d'imposer une dépendance supplémentaire au projet. Puisque OpenCV est une dépendance obligatoire et que la méthode KNearest nous permet d'obtenir le même résultat qu'avec Tesseract nous avons choisi cette solution.

### 13.5.3 Les moyens utilisé pour configurer

L'extracteur de sudocube fut configuré (valeur de threshold, coefficient de dilatation/-d'érosion) à partir d'un lot de tests de 42 images(angles, distances sudocube/robot et luminosités variés). La configuration fut réalisé par essais/erreur pour trouver les paramètres optimal pour toutes les images.

Le lecteur de chiffres est entraîné avec 40 échantillons par chiffres. Aucune configuration supplémentaire nécessaire.

## 13.6 Solveur de Sudocubes

L'algorithme qui solve les sudocubes a été codé en C++. Malgré que l'utilisation de la programmation par contraintes (CSP) aurait été beaucoup plus simple à planter et nous aurait fait économiser du temps, nous n'avions pas envisagé cette solution au départ. Au moment où nous avons entendu parler de ce type de programmation, nous avions presque terminé notre solution "maison".

Le solveur utilise une structure de données afin de garder en mémoire le sudocube qui n'est en fait qu'un simple tableau à trois dimensions. Elle devient donc en même temps une interface pour la vision afin de stocker ses données obtenues lors de l'extraction du sudocube.

Les stratégies utilisées pour solutionner le sudocube sont les mêmes qui sont utilisées dans le monde des sudoku normaux, mais adaptées aux sudocubes. Plus spécifiquement, nous avons utilisé les stratégies (ici citées en anglais pour les retrouver plus facilement sur Internet) :

- Naked pairs
- Hidden pairs/triples
- Pointing pairs/triples
- Box and line reduction

Si ces stratégies ne suffisent pas à solutionner le sudocube, nous utilisons la technique de force brute. Nous pensons que c'est une solution acceptable puisque il sera plutôt rare que

cette situation surviendra et même lorsque ça arrive, le temps d'exécution de l'algorithme reste sous un niveau acceptable.

L'algorithme est à présent fonctionnel. Il peut trouver une solution à des sudocubes ayant uniquement 4 chiffres au départ. Il satisfait donc les exigences du client étant donné que les sudokubes "test" présentés au laboratoires ont entre 9 et 14 chiffres. À l'heure actuelle, bien que nous sachions que l'algorithme fonctionne correctement, il resterait toutefois un refactoring à faire au niveau des classes afin d'améliorer la structure et la lisibilité du code, tout en respectant l'orienté-objet. De plus, il resterais quelques tests unitaires et tests d'intégration à écrire afin de s'assurer de la robustesse du code.

## 13.7 Recherche de chemin

La fonctionnalité recherche de chemin n'en est encore qu'au stade prototype. Cette fonctionnalité n'a pas reçu beaucoup d'attention depuis le livrable 1. On pourrait donc se fier aux données énoncées dans ce livrable pour connare l'état de la recherche de chemin : "L'algorithme A\* a été choisi, car il est très rapide et facile à implémenter". Nous savons que la solution développée dans le prototype est viable, mais il reste du travail à faire pour que ce soit fonctionnel. Il faudra entre autres ajouter une couche logicielle afin de réduire le nombre de points dans le chemin trouvé et ainsi réduire le nombre de rotations du robot.

## 13.8 Communication microcontrôleur - Mac mini

La communication entre le Mac mini a été réalisée avec un port série UART avec protocole RS-232 à travers le module ICDI du microcontrôleur LM3S9B92. Nous avons choisi ce protocole en raison de sa simplicité et de la facilité du déverminage par rapport au protocole USB plus complexe. Une interface de communication qui passe des commandes sous forme de caractères a été développée du côté microcontrôleur. Un terminal série écrit en Python et utilisant la librairie Pyserial a été développé du côté ordinateur. Ce terminal pour usage diagnostique est compatible avec Linux et Windows et permet de récolter des données utiles sous forme de fichiers CSV pour le développement et les tests d'asservissement et de décodage d'antenne. Le terminal final aura une forme légèrement différente afin de s'interfacer avec ROS.

## 13.9 Décodage du signal Manchester - partie logicielle

Le décodage logiciel du signal de l'antenne doit transformer les bits en encodage Manchester en bits traditionnels. La méthode choisie doit être robuste aux changements de taux de transmission de bits, car il est spécifié dans la description du projet que ce taux peut varier de plus ou moins 50 bits / seconde. Parmis les algorithmes permettant de détecter des signaux de taux de transmission inconnu, il en existe deux types principaux :

### 1. Les algorithmes basés sur l'échantillonnage

On effectue une mesure du signal à un intervalle prédéfini plus petit que la période du signal mesuré. C'est le décompte des bits consécutifs à zéro et à un qui permet de décoder le signal.

### 2. Les algorithmes basés sur les timings

On effectue une mesure du temps entre les transitions du signal de zéro à un et de un à zéro. C'est le temps entre les montées et descentes qui permet de décoder le signal.

Puisque le LM3S9B92 possède des compteurs d'usage général qui implémentent une fonction de capture d'événement, nous avons choisi d'utiliser la méthode par timings. Pour l'instant, nous pouvons mesurer des temps entre transitions sur un signal interne au microcontrôleur généré par un PWM.

# Annexe A

## Annexes

### A.1 Asservissement des moteurs

#### A.1.1 Fonction agissant comme PID

```
1 long PIDHandler( volatile long *consigne, volatile long *measured_value, volatile float *I,←
      volatile long *previous_error, float dt)
2 {
3     long error = *consigne - *measured_value;
4     *I = *I + error*dt;
5     float D = (error - *previous_error)/dt;
6     long output = Kp*error + Ki>(*I) + Kd*D;
7     *previous_error = error;
8     return output;
9 }
```