



## Livrable 4 - Robot Kinocito

### 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
908 318 388	Olivier Sylvain
910 055 897	Daniel Thibodeau
910 097 879	Francis Valois

Université Laval  
21 avril 2013

# Table des matières

<b>Table des figures</b>	<b>ii</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>iii</b>
<b>1 Matrice de vérification des performances</b>	<b>1</b>
<b>2 Vision 2<sup>e</sup> itération</b>	<b>3</b>
2.1 Localisation avec la caméra embarquée . . . . .	3
2.1.1 Localisation . . . . .	3
2.1.1.1 Transformations . . . . .	3
2.1.1.2 Localisation des points . . . . .	4
2.1.2 Orientation et angle par rapport au mur . . . . .	4
2.2 Orientation avec la caméra embarquée . . . . .	4
2.2.1 Extraire les contours d'un sudocube . . . . .	5
2.3 Localisation avec la Kinect . . . . .	5
2.3.1 Transformation des distances . . . . .	6
2.3.2 Localisation de la Kinect à l'aide de la calibration . . . . .	7
2.3.3 Réduction de la distorsion de la lentille infrarouge . . . . .	8
2.3.3.1 Correction à l'aide d'une transformation de perspective . . .	8
2.3.3.2 Correction à l'aide d'une courbe de correction d'erreur . .	9
2.3.4 Détection des obstacles . . . . .	9
2.3.5 Détection du robot . . . . .	9
<b>3 Schémas électroniques 2<sup>e</sup> itération</b>	<b>11</b>
<b>4 Post-mortem</b>	<b>15</b>

# Table des figures

2.1	Schéma représentant la table et les différentes mesures obtenues avec la Kinect pour un point quelconque . . . . .	6
2.2	Schéma représentant la table et les vecteurs nécessaires à la mesure de l'angle de la Kinect . . . . .	7
2.3	Schéma représentant la table et les vecteurs nécessaires à la localisation de la Kinect . . . . .	8
3.1	Figure présentant les plans de l'alimentation 5V pour les périphériques . . . . .	12
3.2	Figure présentant le circuit de protection des circuits électriques . . . . .	12
3.3	Figure présentant les plans de l'alimentation 5V pour les périphériques . . . . .	13
3.4	Figure présentant une photo de l'alimentation 24V pour les périphériques . . . . .	13
3.5	Figure présentant les plans du récepteur Manchester . . . . .	14
3.6	Figure présentant les plans du circuit de commande du préhenseur . . . . .	14
3.7	Figure présentant les plans du circuit de commande du préhenseur . . . . .	14

# Liste des tableaux

# **Chapitre 1**

## **Matrice de vérification des performances**

Ce chapitre présente la matrice de vérification des performances

Fonctionnalité Commentaires	Sous-Fonctionnalité Commentaire	Paramètre critique Commentaire	Méthode de vérification	Spécification	Performance	Marge	Commentaire
Vision numérique	Déetecter les obstacles	Temps de calcul(s)	Test	< 1s	< 200 ms	+0.8 s	
		Précision en x(cm)	Test	< 1 cm	< 2 cm	-1 cm	
		Précision en z(cm)	Test	< 1 cm	< 2 cm	-1 cm	
	Localiser le robot	Temps de calcul(s)	Test	< 1s	< 0.5 s	+0.5s	
		Précision en x(cm)	Test	< 1 cm	< 2 cm	-1 cm	
		Précision en z(cm)	Test	< 1 cm	< 2 cm	-1 cm	
		Précision angulaire(*)	Test	< 10°	< 5°	+5°	
Traitement numérique	Lire le cube	Temps de calcul(s)	Test	< 10 s	< 2 s	+8s	
	Calculer la trajectoire optimale	Temps de calcul(s)	Test	< 2s	< 0.01 s	+0.99 s	
	Contrôler le robot pour le dessin	Temps d'exécution(s)	Test	< 60 s	< 42 s	+0.18 s	
		Précision (cm)	Test	±1 cm de la ligne centrale	±0.8 cm	+0.2cm	
	Décoder le signal d'antenne	Temps d'exécution(s)	Test	< 5s	0.3 ms	+4.7 s	
	Choisir le cube selon le signal d'antenne		Démonstration				Vérification du cube choisi selon le signal d'antenne émis
	Résoudre le sudocube	Temps de calcul(s)	Test	< 10 s	< 0.05 s	+9.95 s	
		Chiffres initiaux minimum	Test	7	4	+3 s	
Communication	Recevoir signal d'antenne		Démonstration				Vérifier la cohérence entre la réception et l'émission du signal d'antenne
	Communiquer entre le robot et la station de base	Vitesse(Mo/s)	Démonstration	> 0.5Mo/s	2Mo/s	+1.5Mo/s	Vérifier que les informations transmises du robot et de la station de base sont respectivement reçues
		Latence(ms)	Analyse	< 3 s	< 1 s	+2 s	
	Communiquer entre le mac mini et le microcontrôleur	Vitesse(bit/s)	Test	> 57600 bit/s	115200 bit/s	+57600 bit/s	
	Commander les moteurs	Précision(cm)	Test	< 2 cm	0.6cm	+1.4cm	
		Temps de réponse (ms)	Analyse et test	< 1000 ms	10ms	+990ms	
	Réception des images de la Kinect	Taux de transfert (Images/s)	Démonstration				Vérifier que les images sont reçues
	Contrôler la position de la caméra	Temps de réponse(s)	Test	< 5s	< 1 s	+ 4 s	
		Précision (*)	Test	< 5°	< 1°	+ 4°	
Déplacement	Se déplacer sans toucher aux obstacle	Précision(cm)	Test	< 1 cm de la ligne de trajectoire	< 0.8 cm	+0.2 cm	
		Vitesse(cm/s)	Test	> 3 cm/s	21.7 cm/s	+18.7 cm/s	
Alimentation	Utiliser Une pile rechargeable	Énergie(Wh)	Inspection	30Wh	60Wh	+30Wh	Lire le manuel d'utilisation
		Courant maximal (A)	Inspection	10A	50A	+40A	Lire le manuel d'utilisation
		Durée de charge(min)	Test	> 10min	30min	+20 min	
	Alimenter les moteurs	Puissance(W)	Test	> 25W	36W	+11W	
	Alimenter l'ordinateur	Puissance(W)	Test	> 75W	150W	+75W	
		Ondulation de tension(mV)	Test	< 200mV	90mV	+110mV	
	Alimenter les différents périphériques	Puissance(W)	Test	> 10W	15W	+5W	
		Ondulation de tension(mV)	Test	< 200mV	50mV	+150mV	
Affichage	Afficher message d'initialisation de la tâche		Démonstration				Vérifier que le message est bien affiché sur l'écran de base
	Afficher le cube résolu ainsi que la case rouge		Démonstration				Vérifier que le cube résolu et la case rouge sont bien affichés
	Allumer la DEL lorsque tâche complétée		Test				
	Afficher la trajectoire optimale calculée		Démonstration				Vérifier que la trajectoire optimale calculée est bien affichée
	Afficher la position et trajectoire réelle	Temps d'actualisation	Démonstration	< 15 s	< 4 s	+11s	Vérifier le temps de rafraîchissement de l'affichage de la position en temps réel
	Afficher message de fin		Démonstration				Vérifier que le message de fin est affiché
	Afficher sur le LCD		Démonstration				Vérifier que le LCD affiche bien les informations

# Chapitre 2

## Vision 2<sup>e</sup> itération

### 2.1 Localisation avec la caméra embarquée

La localisation avec la caméra embarquée est un système de localisation d'appoint dans le projet Kinocto. La classe Localisation doit recevoir une image et une orientation grossière selon le nord, sud, est ou ouest par rapport à la table. Elle doit ensuite être initialisée en fournissant un fichier .xml contenant les paramètres de calibration. Ces paramètres comprennent les paramètres intrinsèques de la caméra obtenus lors de la calibration, les paramètres liés à la distorsion de l'image par la lentille, les paramètres extrinsèques qui permettent de lier les points des images prises par la caméra à leur position par rapport à un système de référence virtuel ainsi que les paramètres qui permettent de recadrer ces coordonnées par rapport au centre du robot.

Avec l'image et les paramètres provenant de la calibration, les méthodes de localisation, de détermination de l'orientation et de mesure de l'angle par rapport au mur peuvent être utilisées.

#### 2.1.1 Localisation

##### 2.1.1.1 Transformations

Pour effectuer la localisation du robot, il faut trouver dans l'image reçue au moins deux points identifiables dont les coordonnées par rapport à la table sont connues. Dans le projet Kinocto, ces points incluent les coins de la table, les coins inférieurs des blocs de couleur, les coins du carré vert dessiné sur la table. Pour passer du système de coordonnées du robot à celui de la table, il faut résoudre le système d'équations suivant, où les points  $P_{1A}$  et  $P_{2A}$  sont les points dans le système de la table,  $P_{1R}$  et  $P_{2R}$  sont les mêmes points dans le système du robot et  $t_X$  et  $t_Y$  sont les coordonnées du robot dans le système de la table :

$$X_{1A} = X_{1R}\cos(\theta) - Y_{1R}\sin(\theta) + t_X \quad (2.1)$$

$$Y_{1A} = X_{1R}\sin(\theta) + Y_{1R}\cos(\theta) + t_Y \quad (2.2)$$

$$X_{2A} = X_{2R}\cos\theta - Y_{2R}\sin(\theta) + t_X \quad (2.3)$$

$$Y_{2A} = X_{2R}\sin(\theta) + Y_{2R}\cos(\theta) + t_Y \quad (2.4)$$

En soustrayant l'équation 2.3 de l'équation 2.1 ainsi que l'équation 2.4 de l'équation 2.2, on élimine  $t_X$  et  $t_Y$  et on se retrouve avec deux équations que l'on peut combiner pour obtenir une équation à une inconnue,  $\theta$ . Il s'agit d'une équation de la forme  $a\cos(\theta) + b\sin(\theta) = c$ . Ce type d'équation peut être résolu en considérant la relation suivante :

$$a\cos(\theta) + b\sin(\theta) = R\cos(\theta - \alpha) \quad (2.5)$$

Où  $R = \sqrt{a^2 + b^2}$  et  $\tan(\alpha) = \frac{b}{a}$ . En isolant  $\theta$ , on obtient donc :

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{c}{\sqrt{a^2 + b^2}}\right) + \tan^{-1}\left(\frac{b}{a}\right) \quad (2.6)$$

Il suffit ensuite d'utiliser  $\theta$  dans deux des équations initiales pour retrouver les coordonnées du robot selon le système de référence de la table  $t_X$  et  $t_Y$ .

### 2.1.1.2 Localisation des points

#### 1. Coins de table

Les points correspondant aux coins de table sont trouvés dans l'image en effectuant d'abord une segmentation sur le noir et en utilisant ensuite l'algorithme des lignes de Hough pour retrouver les lignes de bas de mur. L'intersection entre les lignes de bas de mur constitue le coin de la table. Un intérêt de cette méthode est qu'elle permet de retrouver les coins de table même lorsqu'un obstacle se trouve devant celui-ci.

#### 2. Coins du bas des blocs de couleur

Les coins du bas des blocs de couleurs peuvent être retrouvés en trouvant les intersections entre les lignes de bas de mur et la ligne du bas du bloc de couleur, trouvée après segmentation sur le bleu et l'orange.

#### 3. Coins du carré vert

Les coins internes du carré vert peuvent être retrouvés en segmentant sur le vert et en retrouvant les intersections entre les lignes avec la méthode décrite plus haut.

## 2.1.2 Orientation et angle par rapport au mur

L'angle par rapport au mur peut être utile pour réorienter le robot pour la lecture des sudokus. Il est facilement obtenu en utilisant la ligne de bas de mur détectée précédemment. L'orientation peut être déduite en utilisant cet angle et l'orientation fournie à l'initialisation.

## 2.2 Orientation avec la caméra embarquée

Après quelques essais avec la matrice de transformation, nous n'avons pas réussi à obtenir une localisation fiable avec la caméra embarquée.

L'orientation avec la caméra embarquée a donc servi de méthode d'appoint à la localisation avec la Kinect pour corriger l'angle du robot à trois moments critiques, soit devant le mur

lors de la lecture du sudocube, dans le carré vert avant le départ vers les sudocubes et dans le carré vert avant de commencer le dessin.

L'angle est évalué en traçant des lignes de Hough sur des images segmentées sur le noir pour les murs et sur le vert pour le carré vert. La ligne pertinente est sélectionnée en trouvant la ligne croisant l'axe des y à la valeur la plus élevée et ayant la pente la plus faible.

L'angle trouvé n'est pas l'angle réel du robot avec la ligne, mais un angle de 0° signifie que l'orientation du robot est correcte. L'erreur devient plus importante avec les grands angles, mais l'erreur d'orientation ne dépasse normalement pas 15°. En appliquant la correction 2 fois, l'orientation du robot est corrigée dans la plupart des cas.

### 2.2.1 Extraire les contours d'un sudocube

La première étape d'extraction consiste à segmenter par couleur verte afin d'isoler le cadre du sudocube. Puis, un algorithme de détection des contours est appliqué pour trouver deux polygones rectangulaires. Ces polygones sont les bordures intérieures et extérieures du cadre. L'aire des rectangles est calculée pour vérifier que les polygones sont assez grands pour être ceux du cadre.

Ensuite, à partir du polygone intérieur du cadre on isole une sous-région de l'image principale. L'image obtenue est convertie en noir et blanc afin d'appliquer à nouveau un algorithme de contours afin de trouver les cases du sudocube. On sélectionne les polygones résultants selon leur aire. Si jamais le nombre de cases sélectionné n'est pas de 47, on recommence avec un seuil de tolérance différent pour l'algorithme de contour. Le polygone de la case rouge est obtenu en segmentant par couleur rouge et en appliquant à nouveau un algorithme de contour.

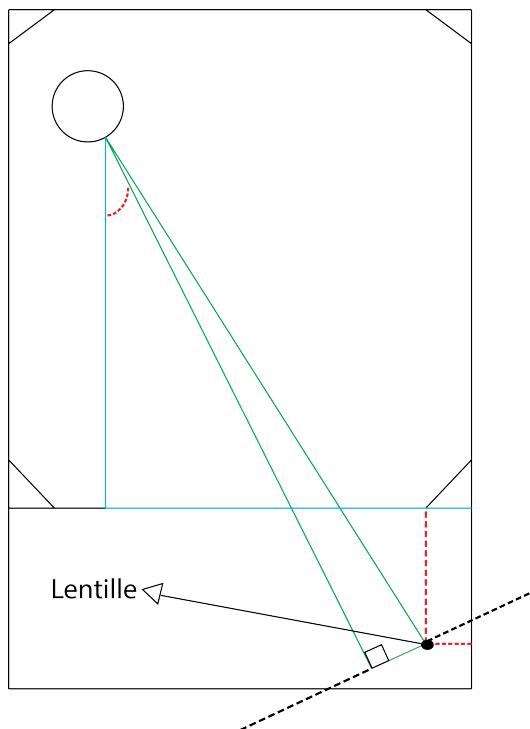
Finalement, les images des cases sont triées en fonction de leur position en X et en Y dans l'image du sudocube et un algorithme de reconnaissance des caractères appliqué sur toutes les cases afin d'identifier les numéros. L'algorithme de reconnaissance utilise la technique KNearest. Les chiffres trouvés sont ajoutés dans la structure de données du sudocube et la position de la case rouge est spécifiée.

## 2.3 Localisation avec la Kinect

Pour aider au déplacement du robot, la Kinect a été utilisée afin de détecter la position des obstacles, la position du robot lui-même ainsi que sa position angulaire par rapport au point (0,0) de notre représentation cartésienne de la table. Toutefois, comme la Kinect est située à l'extérieur de la table de jeu, il faut une translation et une rotation des données obtenues afin de positionner les objets avec exactitude. Les 4 sections qui suivent expliquent en détail les différentes parties de l'algorithme de vision de la Kinect.

### 2.3.1 Transformation des distances

En premier lieu, il est important de clarifier quelles distances il est possible d'obtenir à l'aide de la Kinect. Le «Framework» OpenNI est capable de retourner 2 types de distances pour chacun des points dans l'image infrarouge obtenue de la Kinect. Le premier type de distances retourné est la longueur, en mètres, entre l'objectif et un point quelconque sur l'image. Le second type est dérivé du premier et correspond aux composantes X, Y et Z du vecteur de longueur entre l'objectif et la cible. Pour aider à la compréhension, les deux types de distances peuvent être représentés par les lignes vertes sur l'image 2.1. Toutefois, comme l'origine de notre représentation cartésienne de la table est située sur le coin inférieur droit de la table et que la Kinect n'est pas située à cet endroit, il est nécessaire d'obtenir la distance X et Y (lignes bleues sur l'image 2.1) entre l'origine et le point ciblé sur l'image obtenue de la Kinect. Pour y arriver, il suffit d'obtenir la position X et Y (lignes rouges sur l'image 2.1) de la lentille infrarouge de la Kinect ainsi que l'angle de la Kinect avec l'axe X de la table. Pour obtenir ces valeurs, nous utilisons une calibration simple présentée à la section 2.3.2. Une fois la calibration effectuée, il est possible d'effectuer la transformation des distances de la Kinect vers les composantes X et Y recherchées à l'aide de règles de trigonométrie simples (Translation et Rotation). Toutefois, la Kinect possède une erreur de mesure qui augmente avec la distance. C'est pourquoi l'algorithme va toujours posséder une incertitude entre 1 et 3 cm pour chacun des points mesurés.



*Figure 2.1 – Schéma représentant la table et les différentes mesures obtenues avec la Kinect pour un point quelconque*

### 2.3.2 Localisation de la Kinect à l'aide de la calibration

Le but de la calibration est d'obtenir l'angle de la Kinect avec l'axe X de la table ainsi que la position de son objectif en XY par rapport au coin inférieur droit de la zone de jeu qui constitue notre point (0,0). Pour y arriver, un système, qui possède des dimensions connues, va positionner une plaque constituée d'un "Chessboard" sur la table à un endroit prédéterminé (ligne noire sur la table dans l'image 2.2). Par la suite, une image RGB de la table est capturée à l'aide de la Kinect et les 2 points les plus éloignés horizontalement sur le "Chessboard" sont localisés. Ces 2 points sont reportés sur l'image de distances correspondante pour obtenir la distance XYZ de chacun des 2 points (lignes vertes sur l'image 2.2). À l'aide de ces deux distances, les dimensions du petit triangle entre les deux points de la plaque de calibration sont trouvées (le triangle se situe en dessous de la plaque de calibration sur l'image 2.2). En ayant les dimensions du triangle, il est possible de trouver l'angle de la Kinect, car celui-ci est le même que l'angle interne droit du triangle. Il suffit d'utiliser l'équation suivante avec les dimensions obtenues précédemment :

$$\text{Angle} = \arctan \left( \frac{\text{oppose}}{\text{adjacent}} \right) \quad (2.7)$$

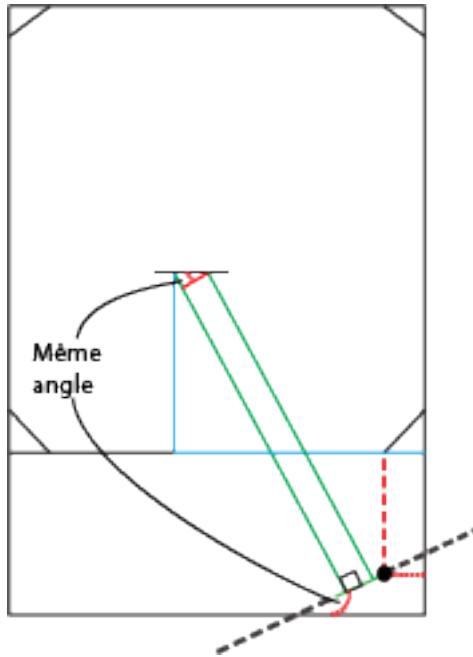
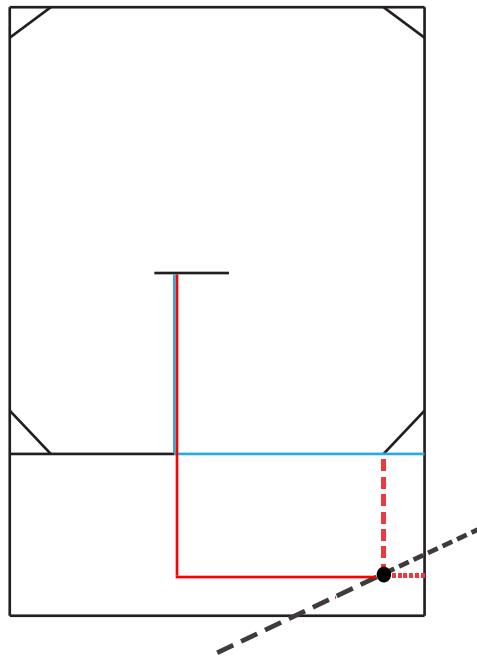


Figure 2.2 – Schéma représentant la table et les vecteurs nécessaires à la mesure de l'angle de la Kinect

Pour obtenir la position de la Kinect, il est nécessaire de connaître la position réelle, par rapport au point (0,0), des 2 points utilisés pour la mesure de l'angle. En effectuant la rotation des distances de chacun, des points donnés par la Kinect pour ramener les mesures dans le plan XY de la table, les distances XY entre les points et l'objectif sont obtenus (lignes rouges

pleines sur l'image 2.3). En soustrayant les distances précédemment obtenues aux distances réelles mesurées (lignes bleues sur l'image 2.3), la position de la Kinect est obtenue (lignes rouges pointillées sur l'image 2.3).



*Figure 2.3 – Schéma représentant la table et les vecteurs nécessaires à la localisation de la Kinect*

### 2.3.3 Réduction de la distorsion de la lentille infrarouge

Dû à la distorsion présente dans la lentille de la caméra infrarouge de la Kinect, il a été nécessaire d'utiliser 2 algorithmes pour réduire la distorsion et améliorer la précision des distances obtenues.

#### 2.3.3.1 Correction à l'aide d'une transformation de perspective

Le framework OpenCV possède une fonction de transformation de perspective qui se nomme "getPerspectiveTransform". Celle-ci reçoit en entrée une matrice de 4 points de distance selon un axe ainsi que les 4 mêmes points selon un autre axe. Par la suite, la fonction va produire une matrice de taille 3x3 pouvant être appliquée à n'importe quelle mesure qui doit passer d'un domaine à l'autre. Dans le cas du projet, le premier domaine est celui des distances renvoyées par la Kinect et le second est celui des distances réelles mesurées sur la table. Pour corriger la distorsion, il suffit alors de multiplier la matrice produite 3x3 par une matrice 3x1 composé des distances en x et z ainsi que du chiffre 1. Le résultat va être composé d'une mesure en x et z ainsi qu'un facteur correctif devant être appliqué aux

2 mesures associées pour appliquer la correction. Ainsi, grâce à cette méthode, la précision augmente beaucoup en périphérie de l'image de points où la distorsion était très importante et pouvait causer des erreurs allant jusqu'à 8 centimètres.

### 2.3.3.2 Correction à l'aide d'une courbe de correction d'erreur

Le principal problème de la méthode précédente provient de son très petit nombre d'échantillons. Avec seulement 4 points, la distorsion ne peut être corrigée qu'aux alentours des points mesurés et il devient nécessaire de trouver une meilleure méthode pour corriger sur toute la plage de distances prévues. Comme la distorsion dépend de la distance avec l'axe optique, une courbe d'erreur de niveau 3 a été mise en place. Ainsi 16 différentes mesures situées un peu partout sur la table ont été effectuées à l'aide de la Kinect. Avec ces mesures, l'erreur de chacun des points avec la mesure réelle a été comptabilisée. Par la suite, une courbe d'interpolation a été créée pour relier les différents points d'erreurs et permettre une correction efficace de la distorsion en l'appliquant sur chacune des mesures effectuées.

### 2.3.4 Détection des obstacles

Comme il est possible d'obtenir n'importe quelle distance entre l'origine et un point quelconque sur l'image, un algorithme de recherche d'obstacles a été créé. Sachant que les obstacles sont situés dans une zone précise sur la table et que ceux-ci font 40cm de hauteur, il suffit de rechercher tout objet de cette hauteur situé dans la zone prédéfinie. La Kinect retourne la hauteur de chacun des points sur l'image infrarouge et permet de localiser les obstacles. De plus, à l'aide de calculs statistiques, l'algorithme est en mesure de trouver les obstacles lorsqu'ils sont presque alignés ou obstrués par un autre objet comme le robot. Comme cet algorithme dépend entièrement de l'algorithme de transformation des distances, les positions obtenues pour chacun des obstacles possèdent la même incertitude de 1 à 3 cm sur chaque mesure de distance effectuée. Pour améliorer la validité des mesures obtenues, une moyenne sur 3 images de distance est effectuée. En ce qui concerne l'efficacité de l'algorithme, différents tests montrent un temps de calcul d'environ 30 ms sur un Core 2 Duo 2.4 GHz pour obtenir la position du centre des deux obstacles.

### 2.3.5 Détection du robot

En ce qui concerne la détection du robot, un algorithme semblable à la détection des obstacles a été utilisé. Comme le robot possède une hauteur d'environ 20cm et une profondeur semblable, il est possible d'isoler, dans la matrice de distance, un carré qui correspond aux dimensions du robot. En plus de cette méthode, 2 "Chessboard" entourés d'un cadre bleu foncé sont placés sur 2 faces opposées du robot. En recherchant les carrés ainsi que les cadres bleus sur le robot, il est possible de déterminer sa position comme l'algorithme précédent, mais en plus d'obtenir son angle avec l'axe X de la table. Pour contrer l'erreur de position intrinsèque causée par la Kinect, la méthode de moyenne des distances utilisée pour la détection des obstacles est aussi appliquée à la détection du robot. Le temps de calcul est un peu

plus élevé que la détection du robot et se situe aux alentours de 50 à 60 ms et il est possible d'obtenir une précision de moins de 2 centimètres dans le carré vert de la table. La précision à l'extérieur de celui-ci n'est pas nécessaire, car le robot se repositionne à l'aide de la Kinect seulement lors de la réception du signal Manchester et avant un dessin.

# Chapitre 3

## Schémas électroniques 2<sup>e</sup> itération

Le modèle de microcontrôleur employé est un Stellaris LM3S9B92. Les différentes entrées et sorties ont été fixées sur un circuit imprimé (PCB) dont le schéma est présenté à la figure 3.1.

L'ensemble des circuits électriques est placé devant des circuits de fusibles dont le schéma est présenté à la figure 3.2. Cela a pour but d'éviter une surcharge de courant dans la branche. Par ailleurs, ces circuits sont actionnables par des interrupteurs placés devant les circuits respectifs.

L'alimentation 5V des périphériques est réalisée au moyen d'un circuit Buck 5V, le schéma est présenté à la figure 3.3.

L'alimentation 24V du préhenseur et du Mac mini est réalisée au moyen d'un circuit Boost acheté chez un détaillant, pour lequel on ne dispose pas du circuit. La tension de sortie est variable avec un potentiomètre. La tension d'entrée est directement celle de la batterie. Une photo du dispositif est disponible à la figure 3.4.

Le circuit de démodulation du signal Manchester présent sur les tables est réalisé au moyen du circuit présenté à la figure 3.5. La clef de ce circuit est le LM567 qui est un circuit intégré permettant de syntoniser le signal d'antenne selon une largeur de bande que l'on établit au moyen des capacités présentes sur les différentes branches. Le LM567 permet d'isoler directement l'enveloppe du signal. Un comparateur à hystérésis est placé à la sortie du LM567 de manière à rendre plus uniformes et abruptes les transitions dans le signal d'enveloppe.

Le circuit de commande du préhenseur est présenté à la figure 3.6. Il n'est composé que d'un transistor Mosfet qui permet d'activer la conduction du préhenseur (avec un courant proche de 150mA), directement à partir du microcontrôleur. Une diode de roue libre permet de décharger l'énergie de la bobine (préhenseur) lors des transitions.

Le circuit de commande de la DEL est présenté à la figure 3.7. Il n'est composé que d'un transistor Mosfet qui permet d'activer la conduction de la DEL, une résistance de  $100\Omega$  permet de limiter le courant dans la DEL.

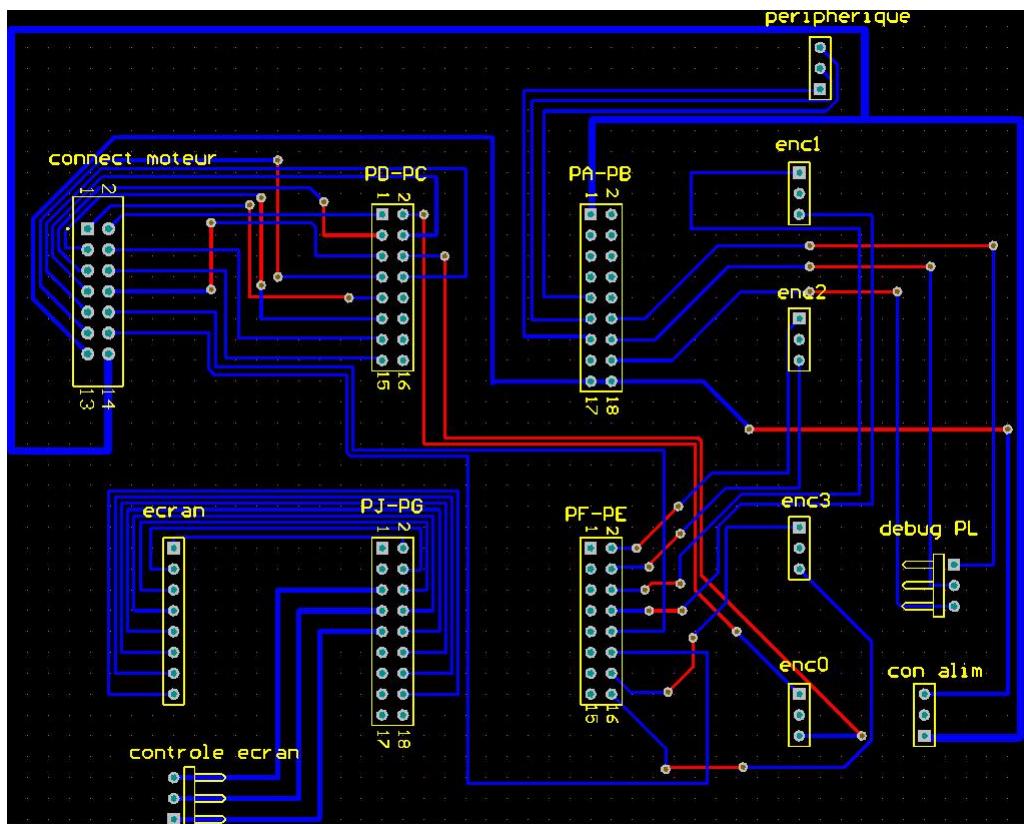


Figure 3.1 – Figure présentant les plans de l'alimentation 5V pour les périphériques

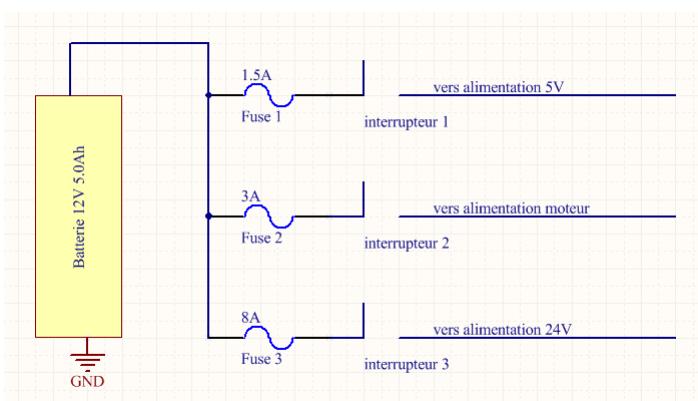


Figure 3.2 – Figure présentant le circuit de protection des circuits électriques

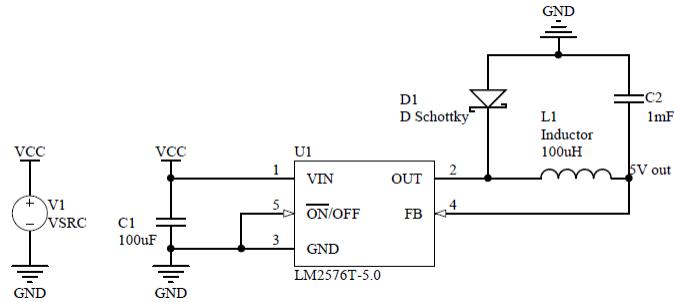


Figure 3.3 – Figure présentant les plans de l'alimentation 5V pour les périphériques

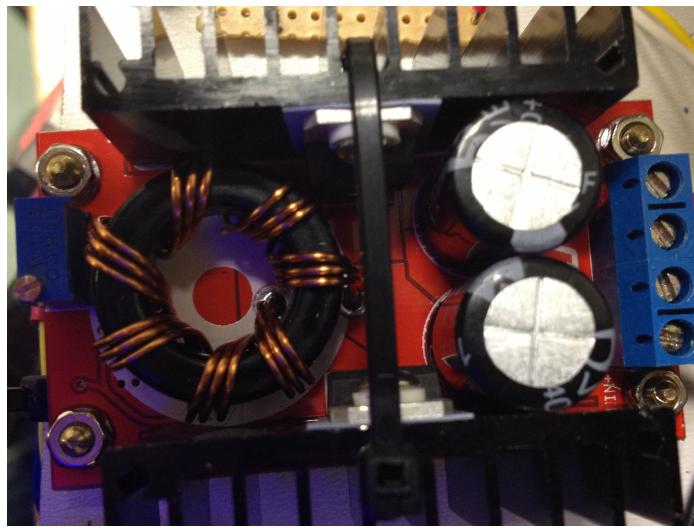


Figure 3.4 – Figure présentant une photo de l'alimentation 24V pour les périphériques

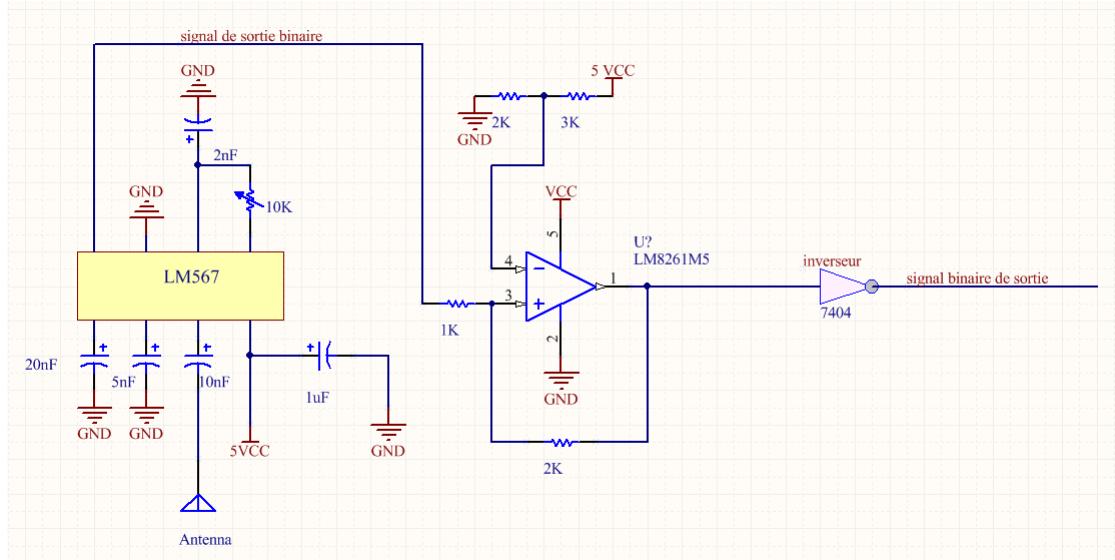


Figure 3.5 – Figure présentant les plans du récepteur Manchester

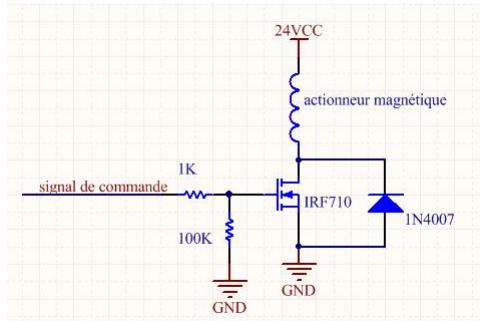


Figure 3.6 – Figure présentant les plans du circuit de commande du pré-henseur

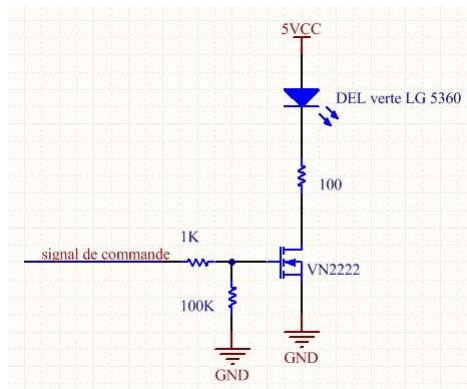


Figure 3.7 – Figure présentant les plans du circuit de commande du pré-henseur

# **Chapitre 4**

## **Post-mortem**