

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
Département de Génie Electrique

PROJET DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme
d'ingénieur d'état en Automatique
promotion 2007

Thème

**Réalisation d'un robot mobile
dévolu au ramassage et
au tri d'objets**

Proposé et Dirigé par :

Mr. H. CHEKIREB

Etudié par :

Massinissa AKROUR

Mohamed MAROUF

E.N.P 10, Avenue Hassen Badi, 16200 El-Harrach, Alger.

Résumé :

Lors de ce projet de fin d'étude, il a été réalisé un robot mobile à roues de types (1.1), capable de se mouvoir dans un plan horizontal, de ramasser des objets, canettes et bouteilles en l'occurrence, de les stocker, de les trier puis de les éjecter par des voies séparées. A ces fins, le robot a été muni de plusieurs moyens de perception : Barrière infrarouge pour la détection de présence ; un Télémètre infrarouge utilisé comme détecteur d'obstacles ; un capteur de couleur permettant la distinction de la nature des objets saisis et enfin un système de repérage par balises à dessein de réajuster la position du robot.

Mots-clés : Robot mobile à roues. Capteur de couleur. Télémètre infrarouge. I.R. Sharp GP2D02. Rangefinder. Capteur de présence. Barrière infrarouge. Pic 16f84A. Pic 16f876A. Microcontrôleur. Système de localisation par balises. Odométrie

Abstract :

During this final project, there has been realized a wheeled mobile robot which type is (1.1) ; able to move in an horizontal plan, to pick up objects, bottles and ducklings in this case, to stock them, to sort them out then to eject them through two separated ways. To achieve this goal the robot has been equipped with several sensors : An I.R. barrier used as a presence sensor, an I.R. Telemeter (rangefinder) used as an obstacle detector and a color sensor for distinguishing the nature of the objects. In addition a system of localisation by beacons has been used to correct the position of the robot in certain places.

Keywords : Wheeled mobile robot. Color sensor. I.R. Telemeter. Rangefinder. I.R. Barrier. Localisation by beacons. Pic 16f876A. Pic 16f84A. Microship. Microcontroller.

خلاصة:

اثناء هذا العمل، انجز روبرو متحرك بعجلات ذو نوعية (1.1)، قادر على تنقل في مساحة أفقية، على جمع أشياء ثابتة قارورات و مكاكيك في هذه الحالة، على حفظهم، على تفريقهم و رميهم من مسارين مختلفين. لتحقيق هذه الأهداف ، وفر للروبو وسائل استقبال المعلومات الصادرة من الخارج المتمثلة في: حاجز تحت الأحمر ، تيليميتر تحت الأحمر و جرار للألوان استعمل لتفريق الأشياء المجمعة. بالإضافة استعمل نظام لتحديد مركز الوجود لتصحيح وضعية الروبو.

كلمات المفتاحية: روبرو متحرك بعجلات، حاجز تحت الأحمر، تيليميتر تحت الأحمر، جرار الألوان، ميكرو كمنترولور.

Table des matières :

Chapitre 0 : Introduction générale.....	9
Chapitre I : Plateforme des robots mobiles à roues.....	12
1. Définitions et classifications.....	13
2. Cinématique des W.M.R.	14
2.1 Position du robot.....	14
2.2 Description des roues.....	14
2.2.1 Roue conventionnelles.....	15
2.2.1.1 Roues fixes.....	15
2.2.1.2 Roues orientables centrées.....	15
2.2.1.3 Roue orientables décentrées « Castor wheels »	16
2.2.1.4 Roue suédoise.....	17
2.3 Contraintes sur la mobilité du robot.....	18
3. Types de robots mobiles.....	21
3.1 Type (3, 0)	21
3.2 Type (2, 0)	22
3.3 Type (2, 1)	22
3.4 Type (1, 1)	23
3.6 Type (1, 2)	24
Chapitre II : Structure et mécanismes du robot	25
1. Schéma général du robot le « <i>Polybot</i> ».....	27
1.1. Plateforme.....	28
1.2 Mécanisme de ramassage.....	31
1.3 Mécanisme de stockage.....	33
1.4 Mécanisme d'éjection.....	36
1.5 Le châssis.....	38
1.6 GRAFCET.....	39

Chapitre III : Entraînement des mécanismes.....	41
1. Entraînement des roues motrices.....	42
2. Entraînement du système de ramassage.....	45
3. Entraînement du système de stockage.....	46
4. Entraînement du système d'éjection.....	46
5. Etage de puissance.....	46
Chapitre IV : Electronique de commande et de détection.....	50
1. Schéma bloc général.....	51
2. Microcontrôleur 1.....	53
3. Microcontrôleur 2.....	53
4. Microcontrôleur 3.....	53
5. Microcontrôleur 4.....	53
6. Microcontrôleur 5.....	53
7. Les microcontrôleurs utilisés.....	54
8. Electronique des blocs constituant le robot.....	56
8.1 Electronique du bloc A.....	56
8.2 Electronique du bloc B.....	58
8.3 Capteur pour le tri (capteur de couleur).....	60
8.4 Capteur d'obstacles.....	61
8.5 Capteur de présence.....	65
8.5.1 Etage émetteur.....	65
8.5.2 Etage récepteur.....	66
8.6 Système de localisation par balise.....	68
8.7 Alimentation.....	70
Chapitre V : Stratégie et programmation.....	71
1. Stratégie.....	72
2. Programmation.....	74
Programmation du microcontrôleur 1.....	74
2.1.1 Temporisations.....	75

2.1.2 Procédure d'alimentation des moteurs.....	75
2.1.3 Trajectoires.....	75
2.1.4 Mécanisme plein et évitement d'obstacles.....	76
2.2 Programmation du microcontrôleur 2.....	76
2.2.1 Procédure d'alimentation des moteurs	77
2.2.2 Mécanisme de stockage	77
2.2.3 Mécanisme de tri.....	77
2.2.3 Mécanisme d'éjection.....	77
2.3 Programmation du microcontrôleur 3.....	78
2.4 Programmation du microcontrôleur 4.....	79
2.5 Programmation du microcontrôleur 5.....	79
Conclusions et perspectives.....	81
Annexe.....	84
Annexe A : Organigrammes.....	84
Annexe B : Trajectoires	91

Dédicace :

Je dédie ce mémoire en premier à ma Mère, ma Mère, ma Mère et encore à ma mère qui a tout fait pour que j'en sois là aujourd'hui. À mon père qui a éclairé les scabreuses laies de ma vie et m'a mené vers moi-même.

À mon frère, pour qui je serai toujours là

À ma petite sœur ; que les brises d'été lui murmurent ces aphorismes qui la guideront vers l'allégresse et la béatitude qu'elle cherche.

À Malek à qui je souhaite un prompt rétablissement.

À mon meilleur ami Toufik et sa femme Meriem qui ne finissent pas de me faire rire. Nous trois c'est pour la vie.

À mes grands parents que dieu les garde. Et à djeddi que dieu ait son âme

À toute ma proche famille : oncles, tantes cousins des deux côtés.

À Mon binôme et à notre nouvelle et je l'espère longue amitié.

À mon psy sans qui rien n'aurait été possible.

À Kahina à qui je souhaite tout le bonheur du monde.

À tous mes vrais amis.

À tous les Tahadist mention spécial à Majou et Omar.

Et enfin au Quadrinôme de choc Adlane Fateh Mohamed et moi-même.

Massinissa AKROUR

Dédicace :

Je dédie ce modeste travail à toutes les personnes qui me sont très chères :

À mère qui a tout fait pour que ma vie soit un empire.

À mon père sans qui je n'aurais jamais accompli ce que j'ai fait jusqu'à présent.

À mes frères et sœurs qui ont toujours été à mes côtés et à qui je souhaite le bonheur et la réussite dans leurs vie à chacun

À tous les membres de ma famille : oncles et cousins des deux côtés et surtout mon oncle Missoum et sa famille en leur souhaitant bonheur et prospérité.

À mon ami Mehdi avec qui j'ai partagé les plus beaux moments de ma vie.

Sans oublier mon binôme Massi avec qui j'ai vécu une expérience inoubliable surtout durant la cinquième année.

À tous les étudiants de EEA et plus précisément mes confrères Fateh, Adlene, Nabil, Loukal et Azzi à qui je souhaite tout le bonheur et la réussite du monde.

À mes vrais amis qui embellissent ma vie tous les jours.

Mohamed MAROUF

Remerciements :

Le travail présenté dans ce mémoire n'aurait jamais pu se faire sans l'aide de notre promoteur Mr. Chekireb et Mr. Larbes. Pour cette raison nous leur témoignons notre gratitude.

Nous tenons aussi à remercier l'ensemble de nos enseignants d'automatique mais aussi d'avant spécialité.

Enfin un grand remerciement à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la concrétisation du Polybot.

Chapitre 0:

Introduction

INTRODUCTION GENERALE:

La **robotique** est le domaine où se conjuguent moult spécialités en vue de réaliser une entité pourvue de possibilités d'interagir avec son environnement, avec une intervention minimale d'un opérateur humain. Selon l'importance de la sollicitation en question le **robot** acquiert un degré spécifique d' « autonomie ». Il existe différentes catégories de robots, celle qui a fait l'objet du présent travail est la robotique mobile.

Les robots mobiles ont un large spectre d'applications. En effet plusieurs réalisations pertinentes donnant suite à une commercialisation internationale s'insèrent de plus en plus dans la vie quotidienne du grand public. Notamment dans le domaine de l'entretien où des robots aspirateurs tels le Roomba d'IRobot ainsi que d'autres robots dits de ménage conquièrent un vaste marché. Dans le domaine de la sécurité civile divers prototypes, chargés par exemple de pénétrer dans des endroits hostiles en cas d'incendie, de tremblement de terre etc. mais aussi d'effectuer des manœuvres précises tels les désamorçages des bombes sont déjà opérationnels. De plus, d'autres applications comme la conquête spatiale fait intervenir principalement des robots mobiles, La mission opportunity est la dernière en date.

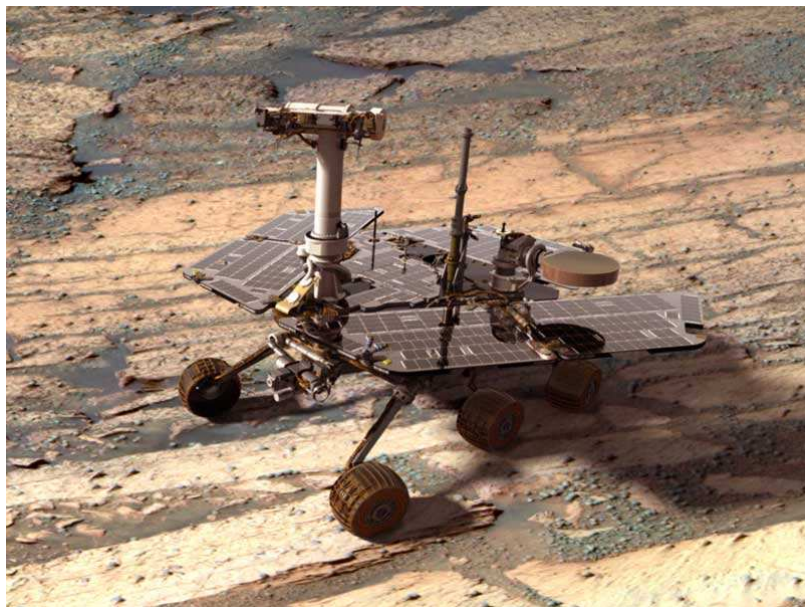


Figure 0.1: Photo du robot opportunity

Dans le cadre du projet de fin d'étude, il a été décidé de réaliser un robot mobile pouvant ramasser des objets solide et de les reconnaître. À dessein de mener à terme cette mission, un cahier des charges répondant à des critères de délais et de connaissances pré requises a été sélectionné. Ce dernier est issu de l'organisation international EUROBOT, qui s'évertue chaque année à mettre sur pied un concours de robotique mobile associant plusieurs équipes de part le monde.[1]

Les organisateurs de cette compétition peinent à élaborer un thème traitant de sujets d'actualités. Pour 2007 le thème retenu fut l'écologie le titre « Tri Party ». Le titre est assez explicite puisque il s'agit de trier des déchets. C'est à dire s'arranger pour les ramasser et les déposer dans des paniers séparés. Les déchets en question sont : des bouteilles de soda en plastique vidées qu'on peut trouver dans le commerce des cannettes de soda en aluminium qu'on trouve dans le commerce aussi.

L'objectif principal du robot sera donc de ramasser un maximum d'objets (bouteilles/cannettes), les trier dans des paniers séparés et cela en un minimum de temps.

Le premier chapitre sera consacré à la présentation des différentes classes de robots mobiles situant ainsi la présente application parmi la gamme des robots mobiles existants.

Plus tard; un chapitre comprenant le schéma général du robot ; solution du problème posé; sera abordé. Il sera, aussi, explicité les différentes tâches auxquelles le robot devra être assujetti ainsi que les mécanismes pensés en vue d'accomplir ces objectifs de ramassage et de tri imposés par le cahier des charges.

Le chapitre qui suivra traitera, de l'entraînement des mécanismes constituant le prototype.

Une partie consacrée à l'électronique de commande et de détection poursuivra cette description du robot. Elle sera étayée par le schéma bloc général; mettant en évidence, les signaux d'entrées/sorties dérivants de chaque mécanisme utilisé et les différentes interactions entre chacun d'entre eux.

Un dernier chapitre, dédié à la partie informatique du projet ainsi qu'aux différents essais menés, clora cet exposé.

Enfin nous terminerons par une conclusion dans laquelle nous commenterons les problèmes rencontrés non signalés auparavant, et par les perspectives visant à énumérer les applications qui pourront découler de ce travail.

Chapitre I :

Plateforme des robots

mobiles à roues:

Les robots mobiles :

Les robots mobiles disposent de plusieurs manières de se mouvoir. En effet il est possible de rencontrer des robots munis de pattes pour se déplacer où encore un système de chenilles. La catégorie qui a fait l'objet du présent travail est celle des robots mobiles à roues. Dans cette classe de robots, la plateforme mobile constitue un module important puisque c'est cette partie qui meut le robot lui permettant ainsi d'accomplir les tâches auxquelles il a été assigné.

I.1. Définitions et Classifications :

Les robots mobiles à roues constituent une catégorie de systèmes mécaniques caractérisée par des contraintes cinématiques non intégrables et par conséquent ne peuvent pas être éliminées des équations issues du modèle. La première conclusion à tirer est que les travaux traitant de la planification et du contrôle accomplis sur les robots manipulateurs sans contraintes ne sont plus applicables dans notre cas. Cette difficulté a donné naissance à une abondante littérature dans laquelle il est question d'algorithmes de planification et de contrôle dédiés à des modèles cinématiques simplifiés tel celui du « car-like » (robot du type voiture). Cependant il est vite apparu évident que ces algorithmes étaient inefficaces dans la pratique car les robots mobiles à roues dans le commerce sont souvent d'une conception plus complexe que celle d'un « car-like ». En effet il n'est pas rare de rencontrer des robots à 3 ou même 4 roues motrices et pour lesquels les questions de planification et de contrôle ne sont, à ce jour, pas encore résolues de manière systématique.

Pour pallier à ces problèmes de modélisations ; plusieurs travaux de recherches ont vu le jour. Leur principal objectif : donner une présentation unie et générale des modèles issus des robots mobiles à roues. C'est surtout les travaux de Brigitte d'Andréa Novel & Co qui ont contribué à clarifier la classification et la modélisation de ce type de robots. [2]

Dès lors les robots mobiles à roues ; que nous symboliserons dorénavant par l'abréviation W.M.R. qui veut dire wheeled mobile robots en anglais ; sont scindés en 5 classes.

En considérant un robot doté d'un nombre de roues arbitraire et de type différent mû par divers moteurs, et en introduisant des concepts tels le degré de mobilité et de gouvernabilité il est possible d'unifier la modélisation des montages existants jusqu'à présent. [2]

I.2. Cinématique des WMR :

La première hypothèse consiste à établir que les roues avec lesquelles le robot se meut sont indéformables et que ces dernières se déplacent dans un plan horizontal.

I.2.1 Position du robot :

Considérons un repère orthonormé $(O, \vec{I}_1, \vec{I}_2)$ fixé au plan de déplacement et un point de référence P ainsi qu'une base arbitraire $\{\vec{x}_1, \vec{x}_2\}$ liés tout deux au châssis. La position du robot dans le plan est alors entièrement définie par 3 variables x, y, θ où x, y sont les coordonnées du point de référence P dans le repère orthonormé défini précédemment et θ est l'orientation de la base $\{\vec{x}_1, \vec{x}_2\}$ par rapport à la base inertielle $\{\vec{I}_1, \vec{I}_2\}$, par conséquent :

$$\vec{OP} = x\vec{I}_1 + y\vec{I}_2$$

Nous pouvons à présent définir le vecteur à 3 dimensions décrivant la posture du robot

$$\zeta \stackrel{\Delta}{=} (x, y, \theta)^T$$

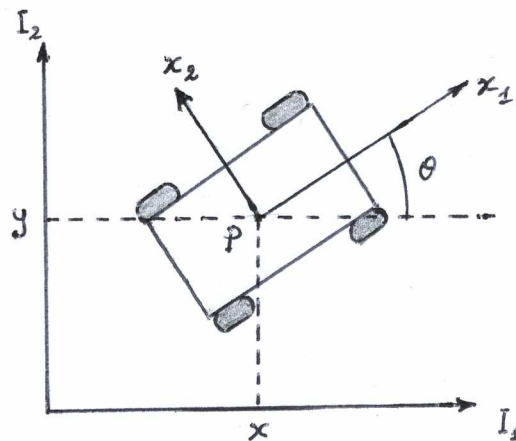


Figure 1.2 : Position du robot

I.2.2 Description des roues :

Nous admettrons que, durant le mouvement, le plan de chaque roue reste vertical et que la roue tourne autour de son axe horizontal dont l'orientation par rapport au châssis peut être fixe ou variable.

Nous distinguerons deux classes de roues idéales : les roues conventionnelles et les roues suédoises ; dans chaque cas il est supposé que le contact entre la roue et le sol se fait sur un seul point du plan à chaque instant.

Pour une roue conventionnelle, le contact entre la roue et le sol est sensé satisfaire la condition de roulement sans glissement ce qui implique que la vitesse au point de contact est nulle et que par conséquent les composantes verticale et horizontale de cette vitesse sont elles aussi nulles. En revanche, pour une roue suédoise, c'est une seule composante de la vitesse au point de contact qui est supposée nulle. La direction de cette composante nulle est à priori arbitraire mais est fixé par rapport à l'orientation de la roue.

I.2.2.1 Roues conventionnelles :

I.2.2.1.1 Roue fixe :

Le centre de la roue noté A est fixe comme illustré à la **figure 1.3**. La position de A dans la base $\{\vec{x}_1, \vec{x}_2\}$ est identifiée, moyennant les coordonnées polaires, par la longueur $PA = L$ et l'angle α . L'orientation du plan de la roue par rapport à PA est représentée par l'angle constant β . L'angle de rotation de la roue autour de son axe (horizontal) est noté $\varphi(t)$; quant au rayon, il est noté r . La position de la roue est alors caractérisée par les constantes α, β, L, r et le déplacement par l'angle $\varphi(t)$ (variable en fonction du temps).

I.2.2.1.2 Roue orientable centrée : (communément appelées roues folles)

Une roue orientable centrée est telle que le déplacement du plan de la roue par rapport au châssis est une rotation autour d'un axe vertical passant par le centre de la roue (**Figure 1.3**)

La description est la même que pour celle d'une roue fixe excepté que maintenant l'angle $\beta(t)$ n'est plus constant mais variable au cours du temps. La position de la roue est caractérisée par les 3 constantes L , α , r et le déplacement par les 2 angles $\varphi(t)$, $\beta(t)$.

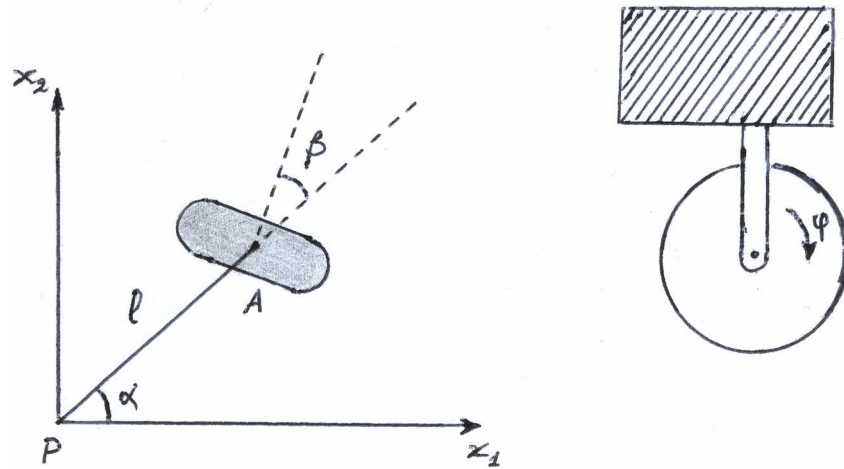


Figure 1.3 : Roues conventionnelles fixe et centrées

I.2.2.1.3 Roue orientable décentrée : " Castor Wheel "

Une roue orientable décentrée est comme son nom l'indique orientable par rapport au châssis cependant la rotation du plan de la roue se fait autour d'un axe vertical qui ne passe pas par le centre de la roue (**Figure 1.4**). Dans ce cas la description de la configuration de la roue requiert plus de paramètres.

Notons à présent B le centre de la roue, ce dernier est relié au châssis par une tige AB d'une longueur constante d , qui peut tourner autour d'un axe vertical au point A. Le point A est lui-même un point fixe du châssis et sa position est spécifié ; par les deux coordonnées polaires L et α ; le plan de la roue est aligné le long de AB. La position de la roue est décrite par 4 constantes α , L , r , d et le déplacement par deux variables temporelles ; les angles $\varphi(t)$, $\beta(t)$.

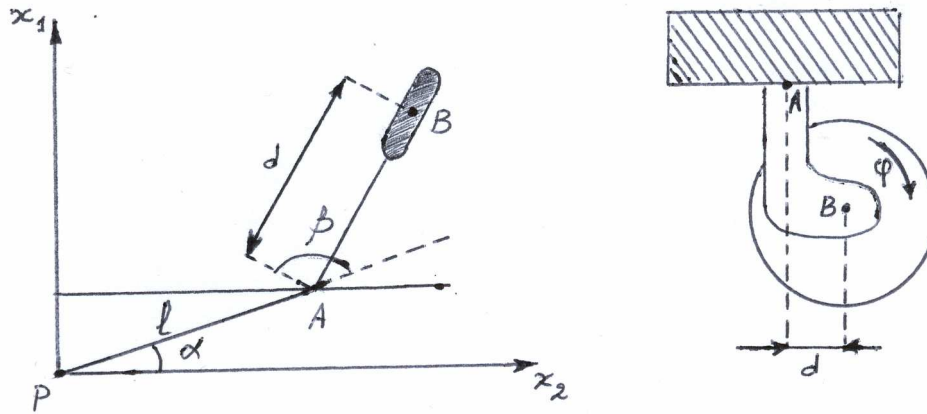


Figure 1.4 : Roues conventionnelles décentrées

I.2.2.1.4 Roue suédoise :

La position de la roue par rapport au châssis est décrite comme pour une roue conventionnelle fixe ; c a d par trois paramètres constants α , β , L ; cependant un paramètre supplémentaire est nécessaire afin de caractériser la direction, par rapport au plan de la roue, de la composante nulle de la vitesse du point de contact. Ce paramètre est l'angle γ (Figure 1.5)

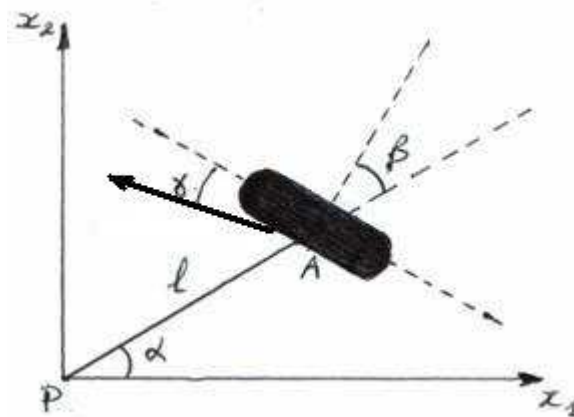


Figure 1.5 : Roues suédoises

I.2.3 Contraintes sur la mobilité du robot :

Maintenant considérons un robot mobile (cas général), équipé de N roues appartenants aux 4 catégories citées précédemment. Nous utiliserons les 4 indices suivants en vue d'identifier les quantités relatives à ces 4 classes :

f : pour roue conventionnelle fixe

c : pour roue conventionnelle centrée

oc : pour roue conventionnelle décentrée

sw : pour roue suédoise

Le nombre de roues de chaque type est noté N_f, N_c, N_{oc}, N_{sw} . Avec $N_f + N_c + N_{oc} + N_{sw} = N$

La configuration du robot est entièrement décrite par les vecteurs de coordonnées suivants :

- Coordonnées de position : $\zeta \stackrel{\Delta}{=} (x, y, \theta)^T$ pour les coordonnées de la position dans le plan
- Coordonnées angulaires : $\beta_c(t)$ pour les angles d'orientation des roues orientables centrées et $\beta_{oc}(t)$ pour les angles d'orientation des roues orientables décentrées
- Coordonnées de rotation : $\varphi(t) \stackrel{\Delta}{=} (\varphi_f(t), \varphi_c(t), \varphi_{oc}(t), \varphi_{sw}(t))^T$ pour les angles de rotation des roues autour de leur axe de rotation horizontal

Tous ces vecteurs constituent ensemble les coordonnées de configuration. Le nombre total des C.C. est $N_f + 2N_c + 2N_{oc} + N_{sw} + 3$

En examinant les contraintes résultant de l'écriture des équations du modèle on peut en sortir avec quelques interprétations géométriques intéressantes.

A chaque instant le mouvement du robot peut être vu comme une rotation instantanée autour du centre instantané de rotation (C.R.I.) dont la position par rapport au châssis peut varier au cours du temps.

En effet à chaque instant, le vecteur vitesse de tout point du châssis est orthogonal à la droite reliant ce point au C.R.I. Ceci est en particulier vrai pour les centres des roues conventionnelles fixes et orientables centrées ; Ces dernières auraient donc à tout instant leurs axes de rotation horizontaux qui se croisent au C.R.I. Ce fait est illustré **figure 1.6**

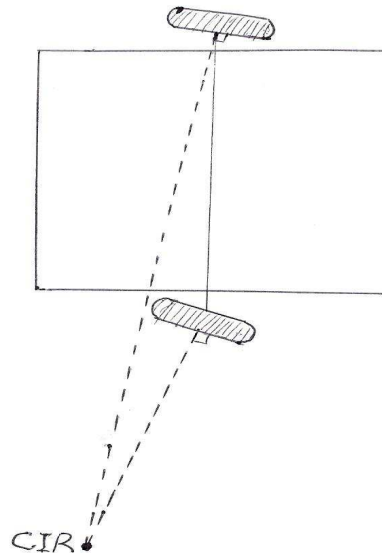


Figure 1.6 : Centre de rotation instantané

Nous pouvons dès maintenant dégager un cas, celui où le robot est constitué au moins de deux roues fixes et dans le cas où il y en aurait plus ; ces dernières auraient leurs axes qui passeraient par le C.R.I. dont la position est fixée par rapport au châssis. Dans un tel cas c'est évident que le seul mouvement possible est une rotation du robot autour d'un C.R.I. fixe.

Il paraît indubitable que cette limitation n'est point acceptable en pratique nous admettrons alors qu'on ne peut avoir plus d'une roue fixe dans un robot ou du moins s'il y'en a plus ; ces dernières seraient sur le même axe que la précédente. Nous définirons un robot non dégénéré par les hypothèses suivantes :

1. si le robot a plus d'une roue conventionnelle fixe ($N_f > 1$), alors elles sont toutes sur le même axe
2. les centres des roues conventionnelles orientables centrées n'appartiennent pas à cet axe commun des roues fixes

3. Le nombre maximal de roues conventionnelles orientables centrées indépendantes qui serviraient à commander le robot est 2. C'est ce que l'on appelle le degré de gouvernabilité δ_s . Ce dernier est compris donc entre $0 \leq \delta_s \leq 2$.

La borne supérieure ne pouvant être atteinte que par des robots dépourvus de roues fixes quant à la borne inférieure, elle correspond à des robots sans roue orientable centrée.

4. Le degré de mobilité est défini comme étant le nombre de roues indépendantes maximal qui peuvent mouvoir le robot. Ce nombre est compris entre $1 \leq \delta_m \leq 3$. Nous verrons par la suite qu'il est en effet possible de combiner entre les différents types de roues pour obtenir un $\delta_m = 3$. Quant à la borne inférieure de l'inégalité à savoir le 1, elle s'explique tout simplement en considérant qu'il y a au moins un mouvement possible et donc $\delta_m \neq 0$.

5. de 3 et 4 on n'en déduit que $2 \leq \delta_m + \delta_s \leq 3$

Nous omettrons les cas :

- $\delta_m + \delta_s = 1$ qui n'est pas acceptable car elle correspond à la rotation du robot autour du même C.R.I.
- $(\delta_m \geq 2, \delta_s = 2)$ car $\delta_s = 2$ implique d'après les hypothèses $\delta_m = 1$.

De ces simples définitions découlent nos 5 configurations « non singulières » dont on parlait auparavant :

δ_m	3	2	2	1	1
δ_s	0	0	1	1	2

En conséquence nous utiliserons dans ce qui suit une dénomination explicitant ces configurations ; procédons tel suit : « robot mobile tu type (δ_m, δ_s) »

I.3 Types de robots mobiles :

Nous tacherons dans ce qui suit de décrire brièvement ces 5 familles de robots mobiles :

I.3.1 Type (3, 0) :

Ces robots n'ont pas de roues fixes ($N_f = 0$) et pas de roues orientables centrées ($N_c = 0$). Ce types de robots sont dits omnidirectionnels car ils ont une complète mobilité dans le plan ce qui veut dire qu'ils peuvent se mouvoir à chaque instant dans n'importe quelle direction sans aucune réorientation faite au préalable ; à contrario les autres types de robots ont une mobilité restreinte puisque le degré de mobilité est inférieur à 3.

Il est possible de rencontrer en pratique 2 types de robots appartenant à cette famille l'un constitué de 3 roues suédoises (**Figure 1.7**) l'autre de 3 roues conventionnelles orientables décentrées (**Figure 1.8**).

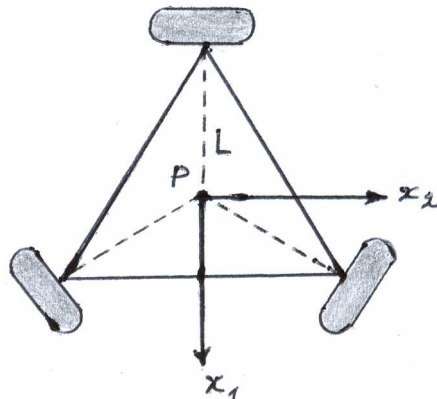


Figure 1.7 : Robot de type (3, 0) à roues suédoises

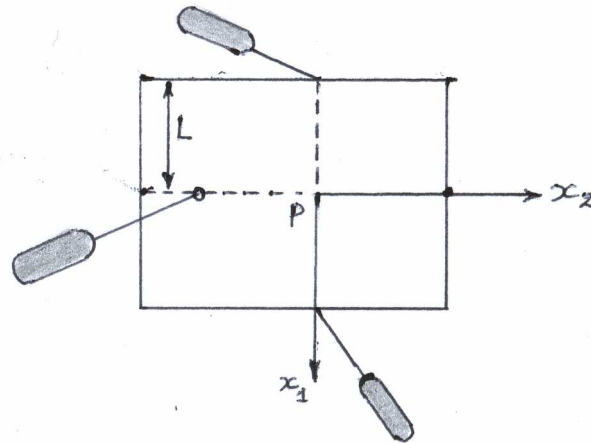


Figure 1.8 : Robot de type (3, 0) à roues décentrées

I.3.2 Type (2, 0) :

Ces robots n'ont pas de roues orientables centrées ($N_c = 0$). Ils ont soit une roue fixe ou plusieurs mais sur un axe commun. (Voir **Figure 1.9**)

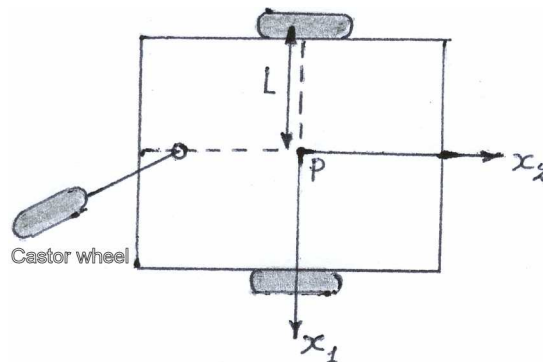


Figure 1.9 : robot de type (2, 0)

I.3.3 Type (2, 1) :

Ces robots n'ont pas de roues fixes ($N_f = 0$) et au moins une roue orientable centrée ($N_c \geq 1$). S'il devait y en avoir plus d'une ; leurs orientations devront être coordonnées de telle sorte à maintenir $\delta_s = 1$. (Voir **Figure 1.10**)

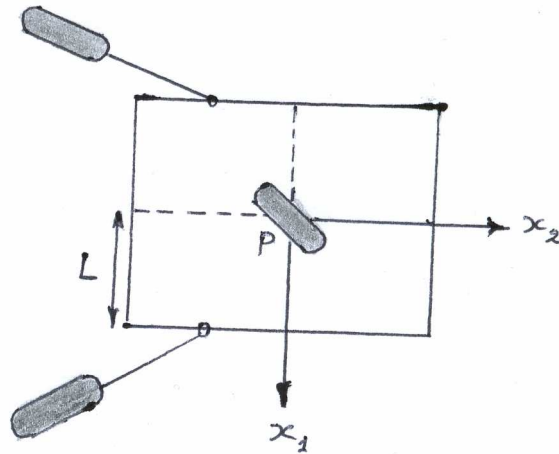


Figure 1.10 : Robot de type (2, 1)

I.3.4 Type (1, 1) :

Ces robots comprennent une ou plusieurs roues fixes à axes communs. Ils ont aussi une ou plusieurs roues orientables centrées avec les conditions que : Le centre de l'une d'entre elles ne soit pas situé sur l'axe de la roue fixe ; autrement nous aurions une structure singulière. Leurs orientations devront être coordonnées de telle sorte à maintenir $\delta_s = 1$. Ce type de robots correspond au modèle car-like (voiture). C'est cette configuration qu'il nous a été donné de réaliser. (Voir Figure 1.11)

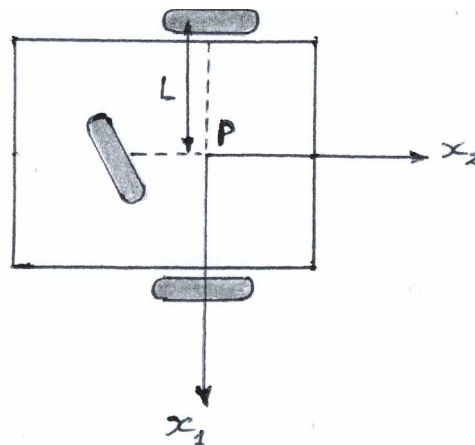


Figure 1.11 : Robot de type (1, 1)

I.3.5 Type (1, 2) :

Ces robots qui ne contiennent pas de roues fixes ($N_f = 0$) ; en revanche sont constitués d'au moins 2 roues orientables centrées ($N_c \geq 2$). S'il devait y en avoir plus de deux ; il faudrait coordonner leurs orientations de telle sorte à maintenir $\delta_s = 2$. (Voir **Figure 1.12**)

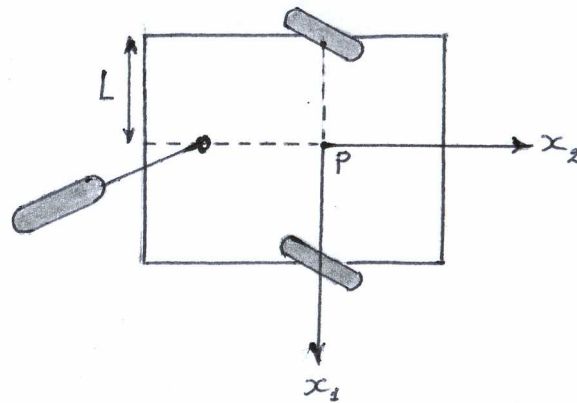


Figure 1.12 : Robot de type (1, 2)

Conclusion :

Lors de ce chapitre il a été abordé le problème lié à la classification des robots mobiles à roues. Nous avons vu que ces derniers pouvaient être catégorisés connaissant la structure de la plateforme les constituant. Dans ce qui suit, il sera présenté la plateforme du robot ainsi que les autres mécanismes qui le compose.

Chapitre II :

Structure et

mécanismes du robot

Introduction :

Le robot est constitué de plusieurs modules assemblés au final pour mener à bien les tâches pour lesquelles il a été conçu.

Dans un premier temps le prototype doit être capable de ramasser des objets solides de différentes catégories (bouteilles et canettes), de les stocker par la suite, puis de les trier afin de finalement les éjecter dans des paniers séparés. Il doit évoluer dans un plan horizontal connaissant l'emplacement initial des objets à saisir ainsi que la position des paniers dans lesquelles il devra les déposer.

Les dimensions du robot sont réglementées en effet il est question d'une hauteur maximale de 35cm et de ne pas dépasser les 1.20m de périmètre et 1.40m après déploiement du robot.

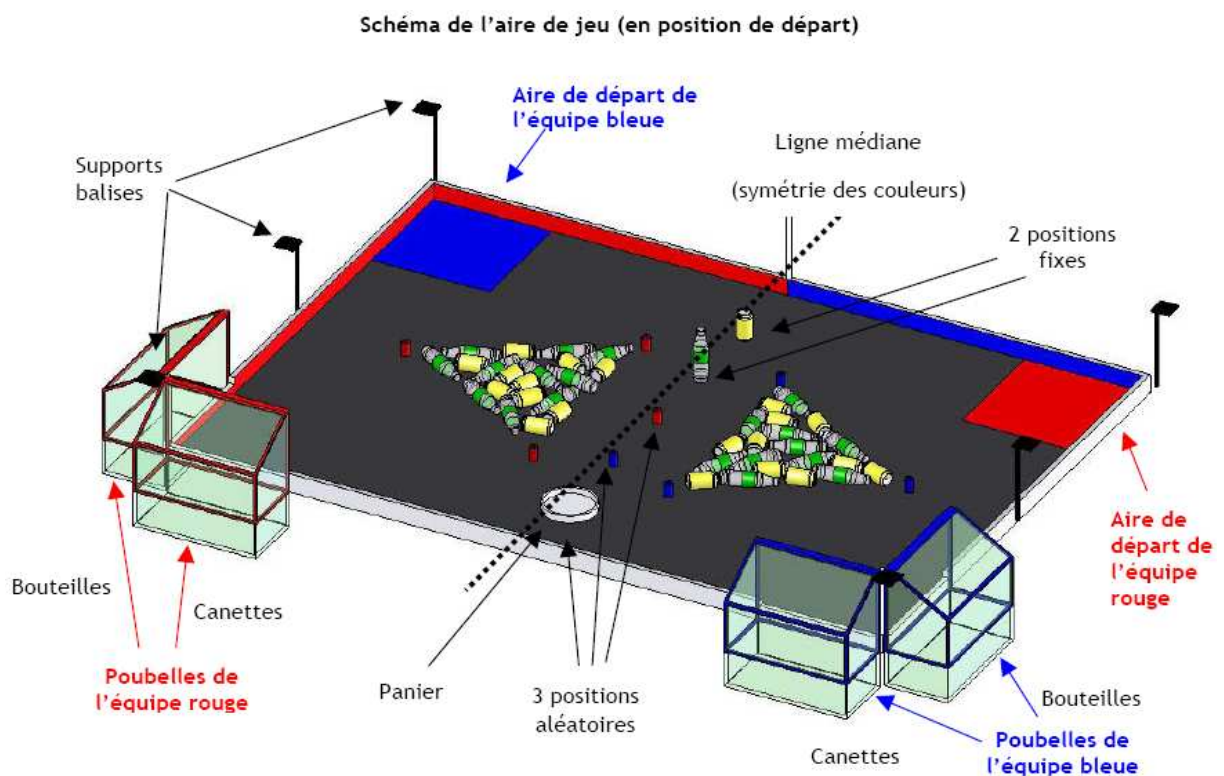


Figure 2.1 : Aire de jeu

L'aire dans lequel évolue le robot a une largeur de 210 cm et une longueur de 300 cm. Elle est peinte de couleur grise anthracite. Il y a 4 poubelles et un panier pour déposer les déchets. Il y a 2 poubelles, une pour les canettes et une pour les bouteilles, à un coin de la table.

II.1 Schéma général du robot « *Le Polybot* » :

Le schéma de l'architecture générale de la solution proposée afin de répondre au cahier des charges est donné à la **figure 2.2**.

Cette figure livre une vue d'ensemble du robot. Il est à noter qu'il est d'une forme **parallélépipédique** contenant plusieurs mécanismes encastrés. La forme cubique fut choisie en raison de la facilité de sa mise en œuvre à contrario; la forme cylindrique aurait nécessité un usinage avancé de la tôle etc.

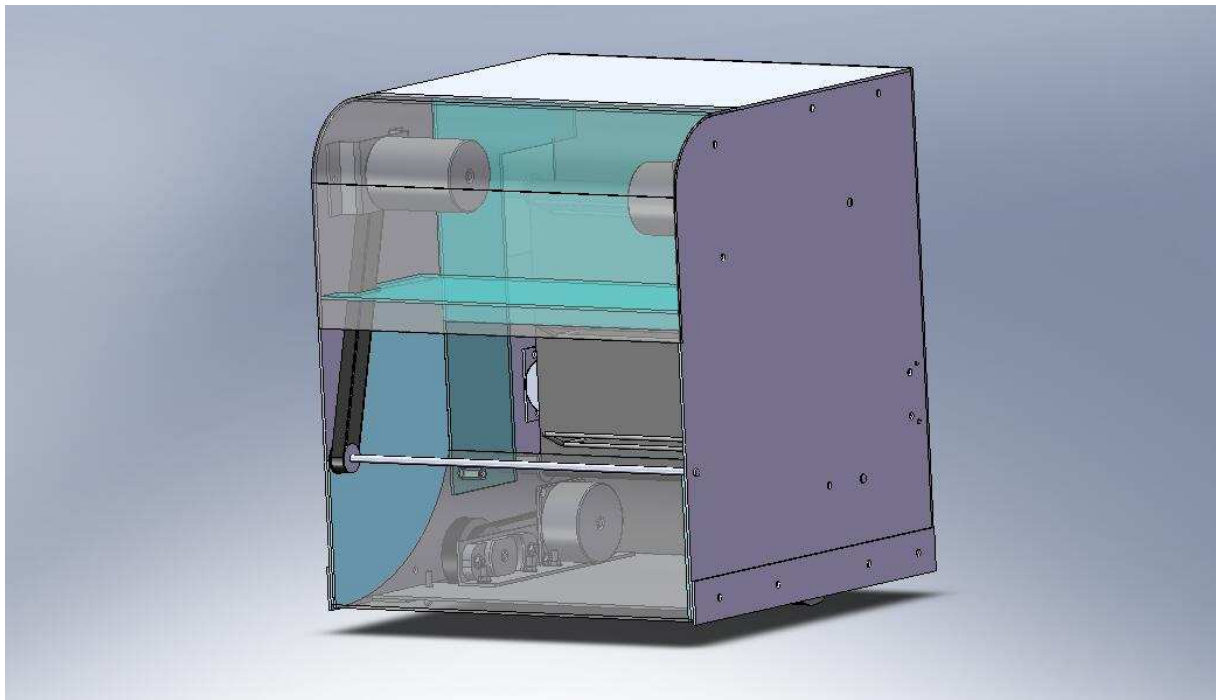


Figure 2.2 : Architecture générale du robot

A l'avant du prototype se trouve le mécanisme de ramassage. Ce dernier est sensé amasser les déchets à l'intérieur du robot. En amont se situe le mécanisme de stockage prévu pour emmagasiner les déchets et les trier pour les éjecter ultérieurement à l'aide d'un mécanisme d'éjection disposé au fond du robot. La conception du prototype comme indiqué sur la figure précédente a donc nécessité la réalisation de plusieurs petits modules assemblés par la suite pour former l'entité *Polybot*.

II.1.1 Plate forme :

La mobilité est obtenue par deux roues placées au centre de deux des faces du robot pour permettre à celui-ci de tourner autour de lui même. La stabilité est obtenue par trois billes folles comme indiqué sur la **figure 2.3**. Ainsi il a été réalisé un robot mobile de type (1, 1) à roues différentielles c'est-à-dire qu'il sera équipé de 2 roues fixes chacune motorisée. Ceci pour permettre à chacune d'entre elles de tourner indépendamment l'une de l'autre. En effet si l'une devait tourner dans un sens et l'autre dans le sens contraire le robot effectuerait une rotation sur place ; cela bien sur en supposant que les vitesses de rotation des moteurs soient les mêmes. D'un autre côté si les roues devaient tourner dans le même sens, toujours à la même vitesse, le robot avancerait en ligne droite. Ça nous a paru suffisant comme argument pour choisir ce type de mobilité. Compte tenu de la petitesse du terrain; dans lequel le robot aura à se mouvoir ; une facilité de tourner représente un grand avantage.

Les roues utilisées ont été prélevées du réducteur d'un vieux moteur. Ce sont des cylindres en métal d'un diamètre de 48mm. Ces dernières ont été choisies pour leur solidité importante favorable à un robot massif ; mais aussi pour leur facilité à s'adapter à tout type de moteur ; car elles étaient solidaires à un arbre présentant des caractéristiques intéressantes comme des dents propice à la pose d'une courroie ainsi qu'un diamètre approprié.

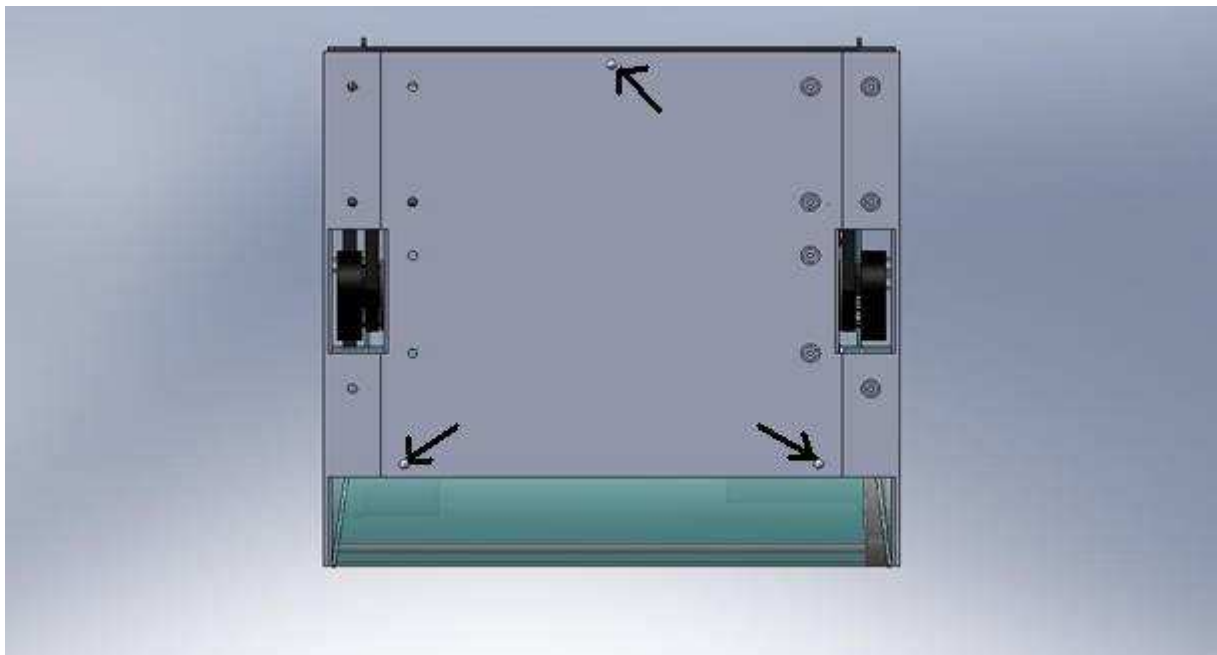


Figure 2.3 : Vue de dessous

Lors d'essais, il a été noté que les roues avaient tendance à « bloquer » et à user la table; aussi pour une meilleure adhérence chacune d'elles a été recouverte de plusieurs bandes de chambre à air lui permettant de ne pas glisser. Le diamètre final mesuré est de 50mm. Les roues telles montées dans la version finale du robot sont représentées **figure 2.5**

Pour des raisons de stabilité des roues folles au nombre de 3 ont été rajoutées à divers endroits de la plateforme comme indiqué par des flèches sur la **figure 2.3**

Sachant les contraintes en hauteur ; à savoir 35cm ; il fallait s'atteler à confectionner de petites roues permettant un déplacement omnidirectionnelle. Des billes extraites de roulements ont été utilisées à cet effet et ont donné des résultats satisfaisants.[3]



Figure 2.4 : Roulement éclaté

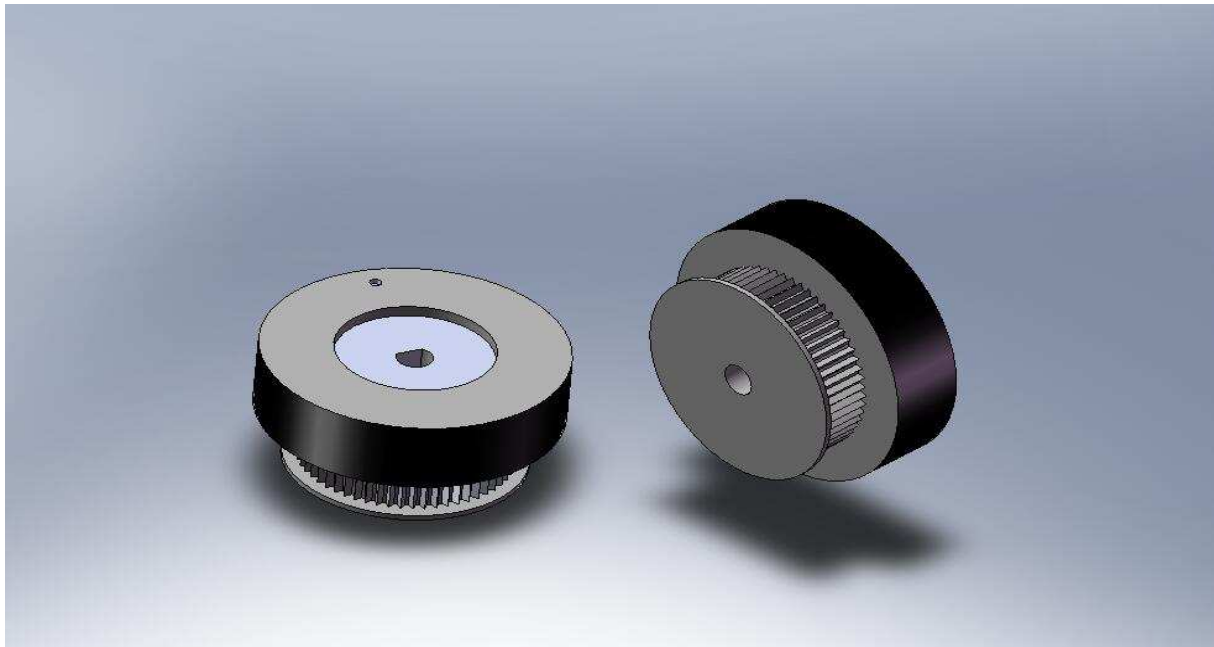


Figure 2.5 : Représentation des roues

Il a aussi été mis au point un système à base de courroie. Cette dernière est liée d'un coté à l'arbre de l'actionneur et de l'autre à la roue motrice. La courroie est liée au moteur par l'intermédiaire d'un pignon; solidaire à l'arbre du moteur à l'aide d'une clavette ; dont l'avantage est qu'il contient cette dernière et l'empêche ainsi de glisser le long de l'arbre du moteur. L'avantage d'un tel montage est considérable dans cette application ou la gestion de l'espace est primordiale ; en effet il est possible dès lors que nous disposons d'une courroie de longueur appropriée de mettre l'actionneur à l'endroit de notre choix.

Une cornière en aluminium servant de support à la roue et son moteur a été percée à divers endroits pour soutenir ces derniers avec des boulons. Le schéma de cette réalisation est donné **Figure 2.6**

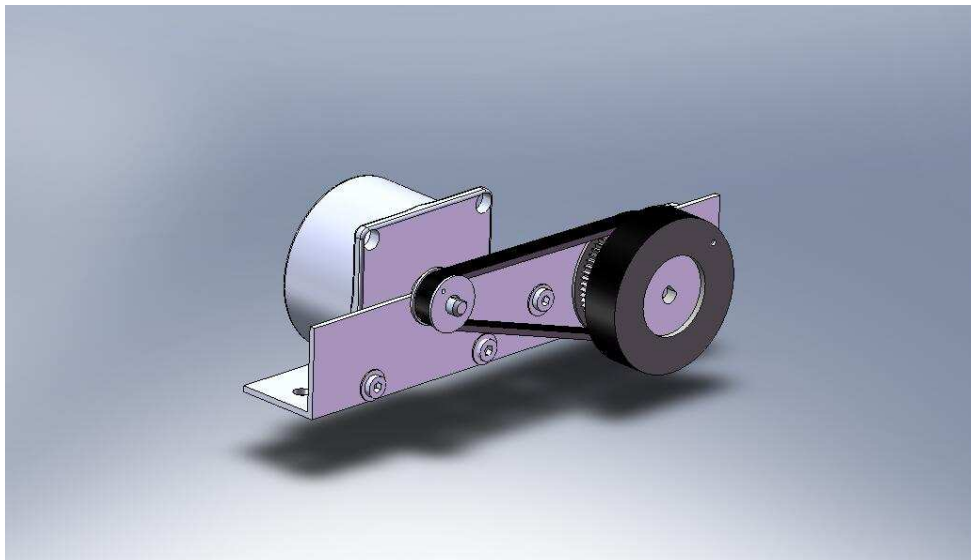


Figure 2.6 : Schéma du mécanisme des roues motrices

Une photo du mécanisme de traction finalisé a été prise et est présentée sur la **figure 2.7**

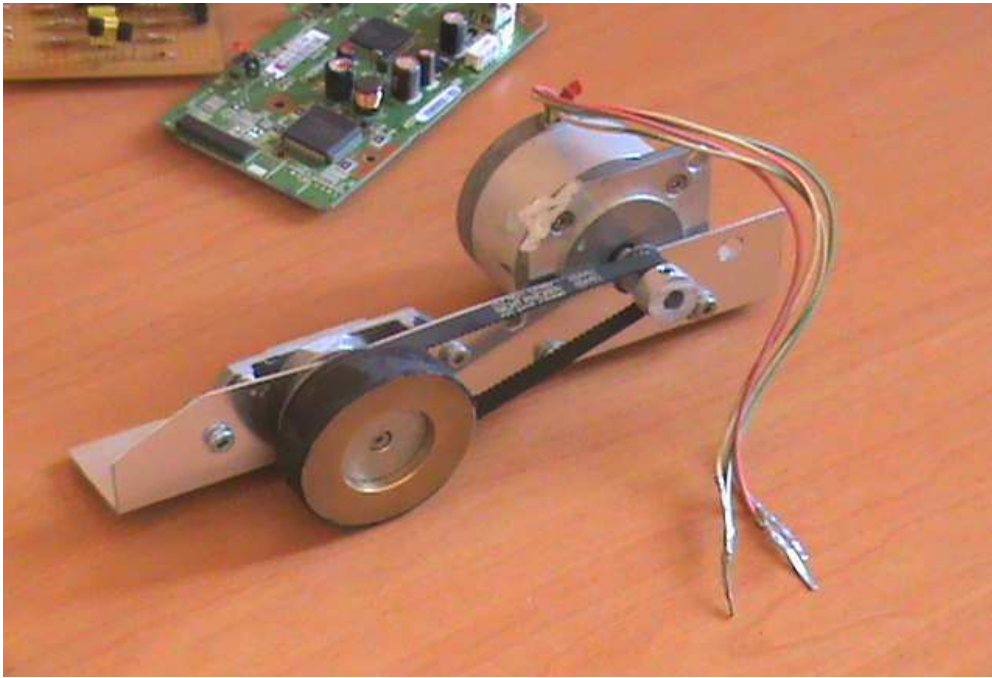


Figure 2.7 : Photo du mécanisme de traction finalisé

II.1.2 Mécanisme de ramassage : « avaleur » :

Inspiré des stations de lavage automatique des voitures; un mécanisme baptisé « **avaleur** » fut réalisé. Son rôle étant la réception des déchets.

Un manche à balais sectionné selon les dimensions souhaitées; à savoir 28cm; fixé aux parois latérales, percées auparavant, par des boulons constitue le corps du mécanisme de ramassage. Par la suite des bouts de caoutchouc d'une longueur de 68mm; découpés de chambres à air ; ont été collés tout autour de la tige en bois; ces derniers devraient aider à la saisie des bouteilles et cannettes en les accrochant et les attirants vers l'intérieur. C'est à une hauteur de 7cm à partir du sol ; avoisinant le diamètre des objets à saisir ; que la tige a été fixée. Cette hauteur a été choisie après plusieurs tests. La rotation de l'arbre est faite à l'aide d'un mécanisme de courroie permettant de situer l'actionneur à l'endroit de notre choix tel représenté sur le schéma de la **figure 2.8**

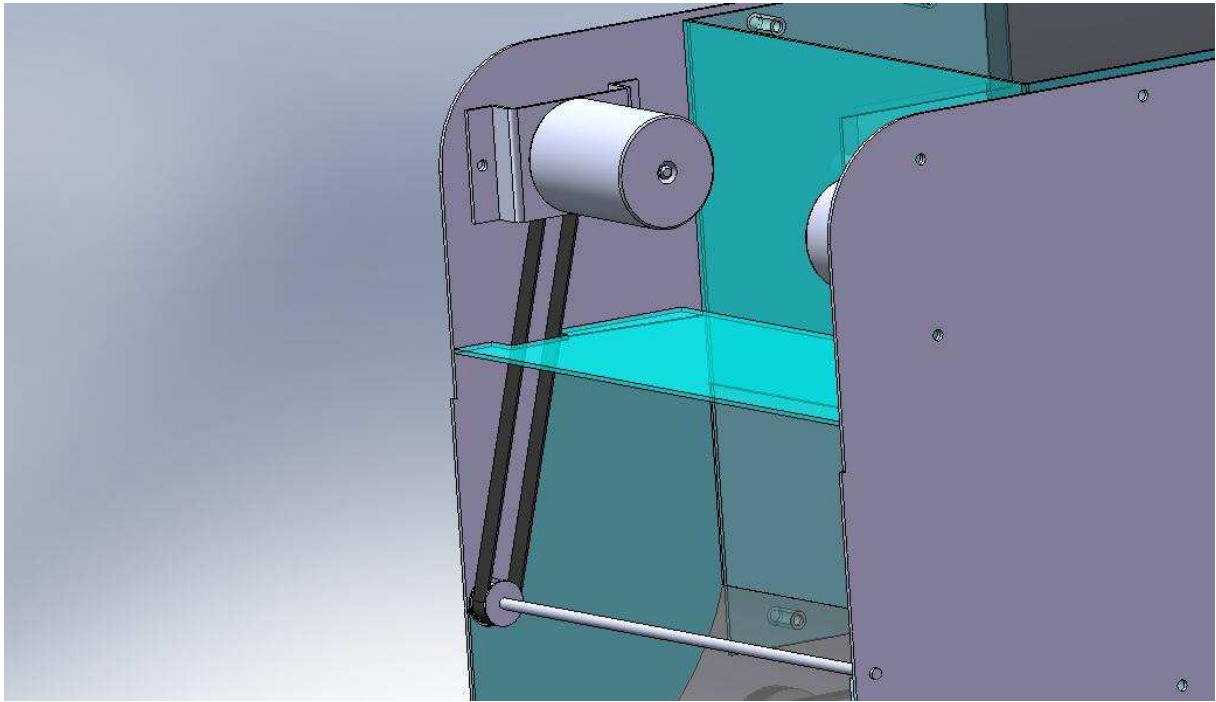


Figure 2.8 : Schéma du mécanisme de ramassage

Une photo prise du mécanisme monté sur le robot est donnée à la **figure 2.9**

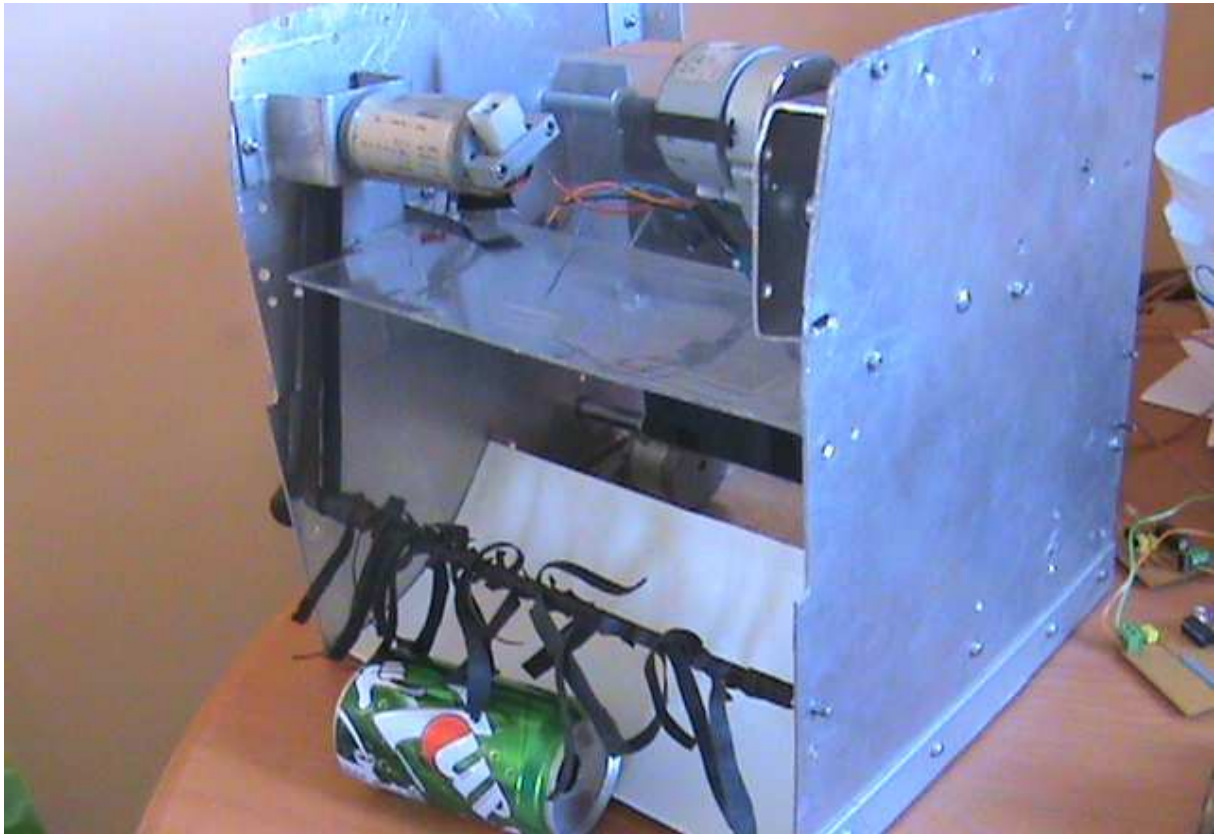


Figure 2.9 : Photo du mécanisme de ramassage monté sur le Polybot

II.1.3 Mécanisme de stockage : « ascenseur »

Le rôle du mécanisme de stockage est double : il devra s'employer dans un premier temps à stocker les déchets interceptés puis dans un deuxième temps à les trier et les agencer de sorte à les préparer à l'éjection. Dans le but de satisfaire à cet objectif il a été pensé un mécanisme surnommé « **ascenseur** » proche des mécanismes dont dispose les distributeurs de boissons. Doté de plusieurs compartiments aménagés pour accueillir les objets saisis ; un élévateur empilant les bouteilles et cannettes fut réalisé. Ce dernier les surélève une fois ramassées et les soumet à un tri. Ainsi une fois une bouteille ou cannette saisie ; elle vient se placer sur un compartiment de l'élévateur initialement libre poussé par le mécanisme de ramassage. Dès qu'un capteur détecte la présence d'un déchet ; il transmet l'information faisant ainsi fonctionner le mécanisme, élevant dès lors la bouteille ou cannette et libérant donc une autre place pour un autre déchet ; ainsi de suite jusqu'à atteindre la capacité maximale de stockage qui est de 6 objets (contrainte hauteur) répartis sur deux faces.

Un capteur distingue les types de déchets au fur et à mesure que ces derniers se décalent sur le mécanisme préparant ainsi leur éjection par des voies séparées. Par la suite ; une fois cette étape de collecte finie ; le robot se dirigerait vers les poubelles et viderait le mécanisme. Nous sommes ; cette fois ci ; de l'autre côté de l'élévateur qui fait à présent descendre les bouteilles et cannettes en vue de leur éjection. D'où le surnom d'ascenseur.

La concrétisation de ce module présentée de manière simplifiée consiste en deux arbres l'un en bas l'autre en haut, une bande enroulée autour de ces tiges, des compartiments destinés à accueillir les déchets tout le long de la bande et un moteur faisant tourner l'un des arbres.

Son schéma est illustré sur la **figure 2.10**

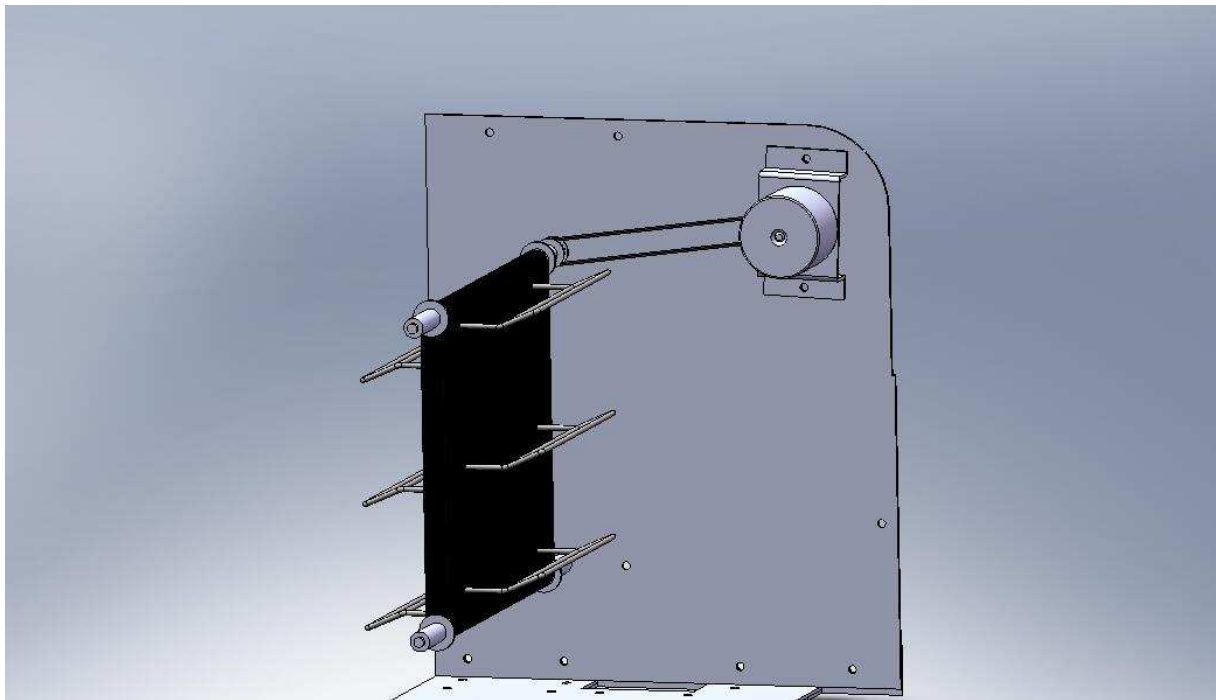


Figure 2.10 : Schéma du mécanisme de stockage

Les deux arbres ont été faits avec des tiges en acier découpées selon les mesures appropriées. Pour fixer les bouts de métal ; un perçage de la coque latérale a été nécessaire. Cependant pour la partie du haut ; un arbre en métal sur lequel viendra se fixer un pignon a été plombé sur le rouleau en acier. Deux parties de chambre à air ; servant à accoler les deux arbres ; fixées l'une à l'autre par des agrafes constituent la bande sur laquelle viendra se juxtaposer les compartiments. Par la suite ; tordus à la main selon des dimensions qui dépassaient de peu le

rayon des déchets, à savoir 65mm (suffisant pour maintenir l'objet en équilibre) et obliqués de manière à épouser approximativement la forme cylindrique d'une B/C ; des fils de fer ont été utilisés pour réaliser la version ultime des compartiments de l'ascenseur.

La solution d'utiliser des fils de fer comme support des compartiments a été établie après un long processus d'essais qui a montré l'importance d'une surface creuse permettant de laisser tomber tout autre déchet qui ne correspond ni à une bouteille ni à une cannette ; facilitant le nettoyage et l'entretien du mécanisme puisque tout autre impureté tomberait sur la plateforme.

Une courroie comme pour les autres modules sert à mettre l'actionneur à l'endroit de notre choix. Les pignons aussi ont la même fonction que pour les précédents mécanismes, à savoir, contenir la courroie et faire qu'elle tourne en minimisant les contraintes de frottements etc. Il y a donc un pignon sur l'arbre du moteur et un autre sur la tige en métal sensée faire tourner la partie du haut et par delà même le mécanisme.

La photo **figure 2.11** montre le mécanisme de stockage dans sa version finale.



Figure 2.11 : Photo du mécanisme de stockage dans sa version finale

II.1.4 Mécanisme d'éjection

Le mécanisme d'éjection devrait à priori expulser les bouteilles et canettes séparément. Dans ce but deux solutions furent envisagées ; la première consistait à éjecter l'un ou l'autre des objets dans une poubelle et à la suite d'une manœuvre du robot s'orienter vers la deuxième poubelle pour éjecter l'autre déchet. La seconde qui fut par la suite concrétisée consistait à éjecter les bouteilles et canettes par des issues séparées. Compte tenu de la proximité des poubelles entre elles ; cette seconde solution nécessitant moins de manœuvres a été retenue.

Le mécanisme d'éjection comme illustré sur le schéma général se trouve dans la partie la plus en amont du robot. Il est formé de deux parties distinctes. La première consiste en une simple ouverture sur la face arrière tandis que la seconde comprend un système motorisé en plus de l'ouverture latérale. L'ouverture arrière est l'issue par laquelle la bouteille devra être éjectée. Ainsi le plexiglas formant cette face du robot a été découpé selon les dimensions d'une bouteille à savoir 25cm. L'ouverture latérale par laquelle la canette devait être évacuée ; en revanche ; a nécessité le sciage de la tôle en aluminium formant cette face du prototype selon des dimensions excédants de peu celles du diamètre de la canette c'est-à-dire a peu près 70mm. Une fois que l'ascenseur aura fait descendre la bouteille ; cette dernière pourra tomber par l'action de son poids à l'extérieur du robot. Celui-ci devant être placé de telle sorte à faire tomber cette bouteille dans la poubelle. Pour les canettes ; un système de trainage ; a du être réalisé pour pousser ces dernières vers l'extérieur. Pour la conception de ce système il a fallu deux tiges en métal disposées en parallèle en position horizontale ; une courroie reliant un moteur à une poulie parallèle à ces tiges et une plaque d'aluminium servant à accompagner les canettes vers l'extérieur. La plaque d'aluminium est liée aux deux tiges ; en haut par un tube en métal et en bas par une simple torsion de la plaquette. Ceci permettra de contraindre cette tablette en métal à n'avoir qu'un seul degré de liberté pour se mouvoir. Cette explication est illustré sur le schéma **figure 2.12**

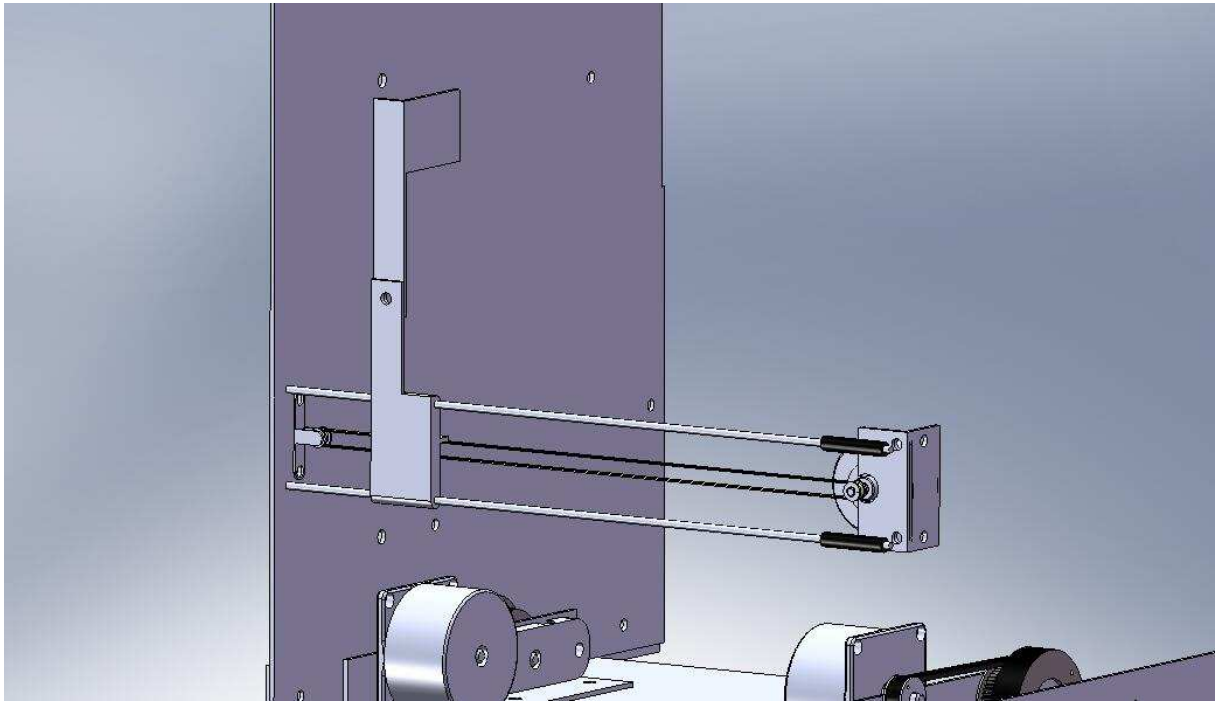


Figure 2.12 : Schéma du mécanisme d'éjection

Il est à noter que l'ouverture des bouteilles est disposée en dessous de celle des cannettes ainsi lors du fonctionnement ; il s'agira de faire marcher le système d'éjection latéral dans le cas d'une cannette ou simplement de faire fonctionner le mécanisme de stockage dans le cas d'une bouteille.

Remarque : Une sorte de charnière avec un ressort improvisé a été conçue afin d'augmenter la propulsion de l'objet lors de l'éjection.

La photo du module finalisé est donnée **Figure 2.13** ci-après

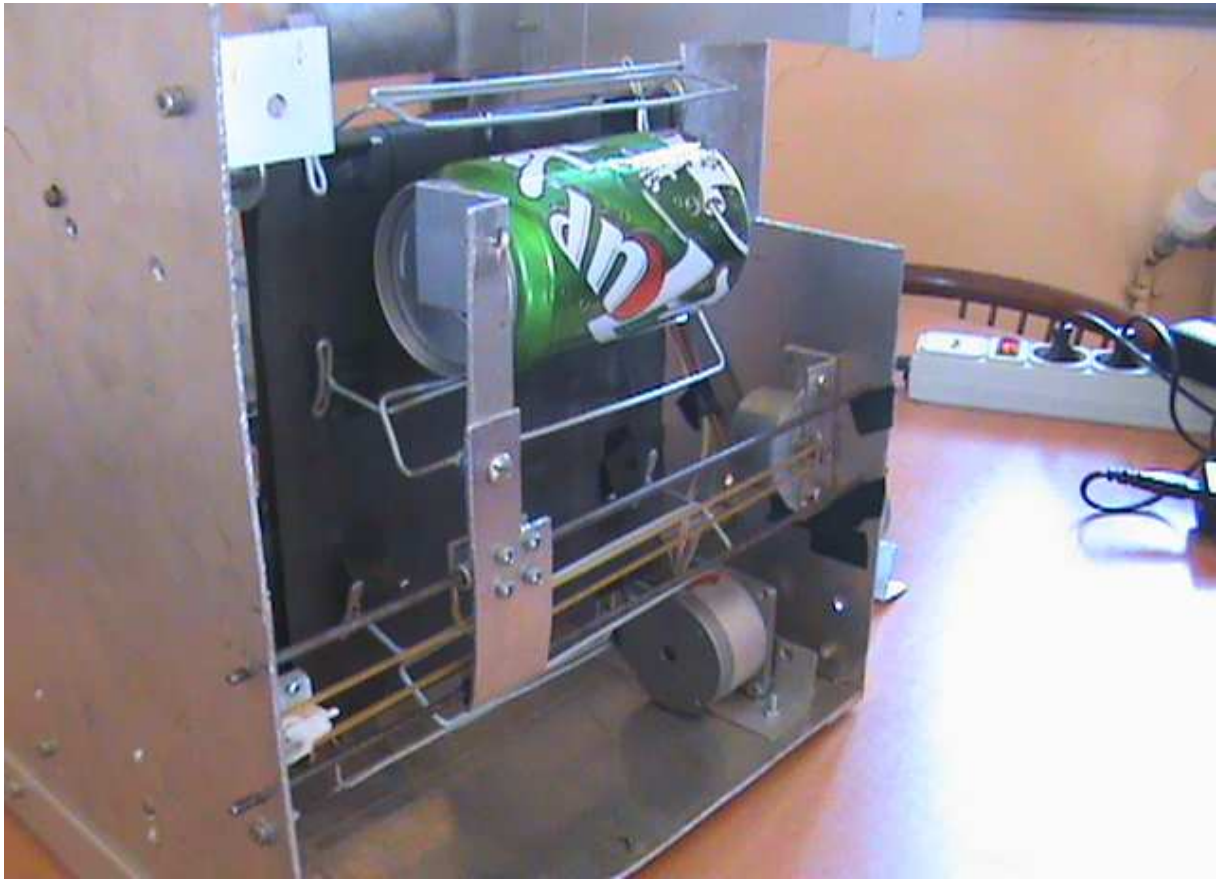


Figure 2.13 : Photo du mécanisme d'éjection.

II.1.5 Le châssis :

Le châssis a été réalisé avec des plaques en aluminium. Ce matériau fut choisi pour le bon compromis qu'il présente en termes d'aisance, quant à son usinage, de légèreté et de solidité. Pour joindre ces plaques des cornières en aluminium ont été utilisées. Le tout fixé à l'aide de boulons. Une double cloison, faite avec du plexiglas ; destiné à claquer les objets ramassés et les orienter vers les emplacements qui leur sont prévus ; a été conçue à divers endroits comme indiqué sur la **figure 2.14**

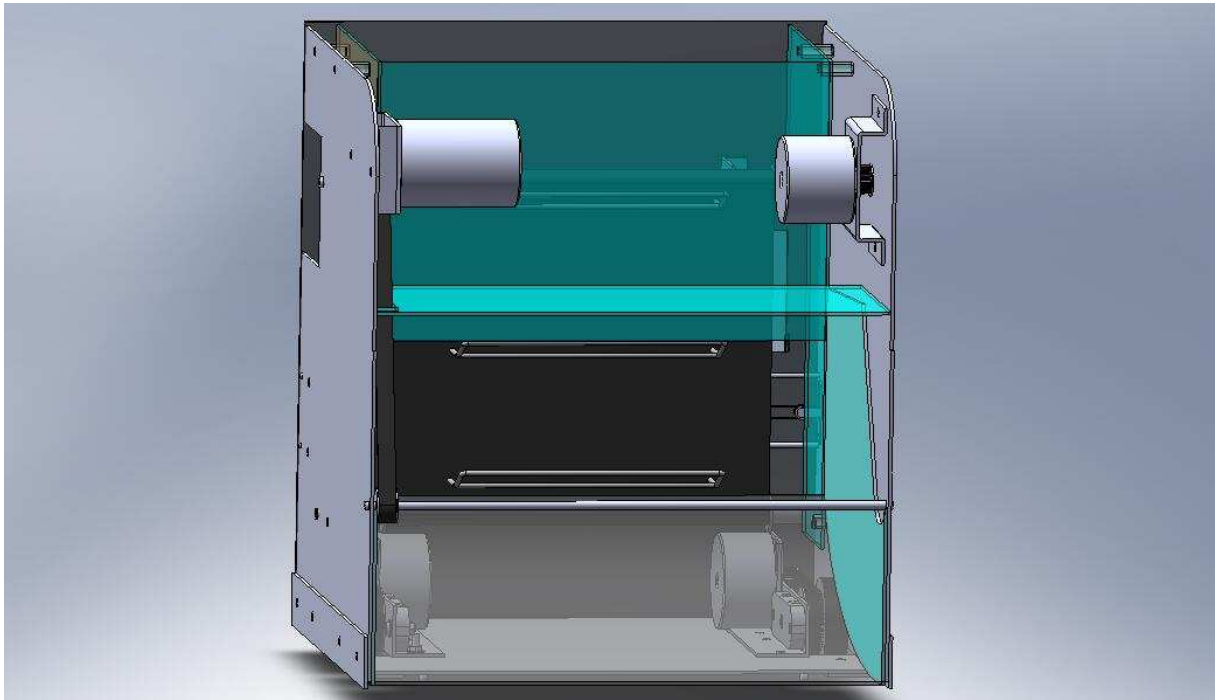


Figure 2.14 : Vue d'ensemble sans la toiture

Un grenier improvisé pour accueillir les cartes électroniques a été fabriqué avec du plexiglas aussi. L'avant du robot, où est situé le mécanisme de ramassage, est excavé ; puisque c'est de là que les déchets sont saisis.

La fixation des roues folles à la plate forme s'est faite par collage de la cage, qui les sépareit dans le roulement, à la plaque d'aluminium.

II.1.6 GRAFCET

Le problème posé par le cahier des charges a été abordé avec les outils dont nous disposions à savoir GRAFCET, Réseau de Pétri etc.[4]

La planification des tâches du robot a été faite avec cet esprit de réaliser un automatisme. Le GRAFCET à la **figure 2.15** illustre ces explications.

Pour résumer il s'agit de faire faire au robot 5 tâches principales :

1. Suivi de trajectoire
2. Ramassage
3. Stockage et tri
4. Avance vers point de dépôt
5. Ejection

Le robot démarre en tirant sur une corde qui joue le rôle d'interrupteur symbolisé par le bouton (m).

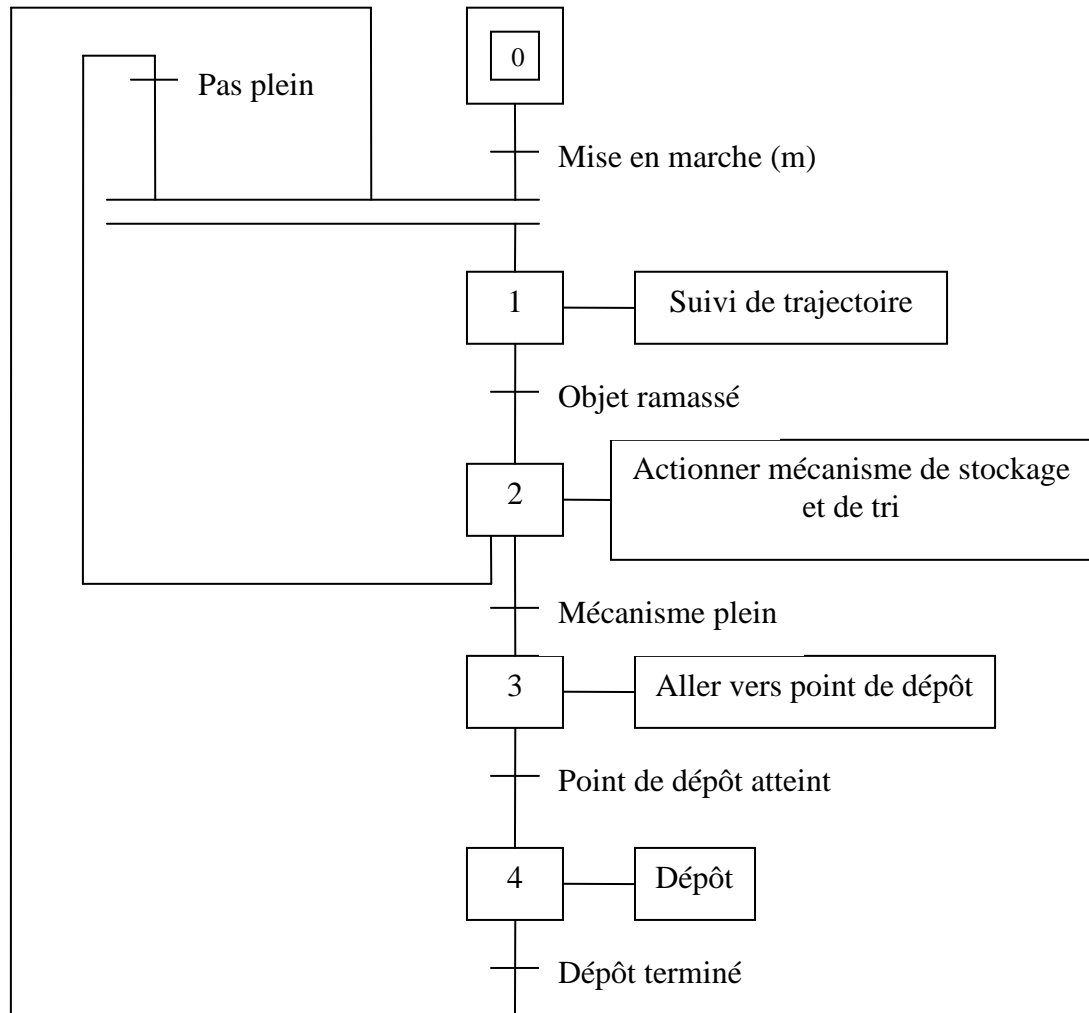


Figure 2.15 : GRAFCET solution du cahier des charges

Conclusion :

Lors de ce chapitre il a été décrit l'architecture générale du robot qui consiste en un assemblage de plusieurs modules. La structure des mécanismes a fait l'objet d'une conception assistée par ordinateur en vue de visualiser et de simuler le prototype avant réalisation. Dans ce qui suit il sera abordé les techniques utilisées pour entrainer ces mécanismes.

Chapitre III :

Entrainement des

mécanismes

Entrainement des mécanismes

Dans ce chapitre il sera mentionné les différents types de moteurs employés pour l'entraînement des mécanismes ainsi que les techniques utilisés afin de commander ces derniers.

III.1 Entrainement des roues motrices :

Pour la traction des roues motrices; des actionneurs pas à pas de type hybride ont été utilisés. Ce sont des moteurs reluctants polarisés. Ils superposent le principe de fonctionnement des moteurs à aimant permanent et à reluctance variable et combinent leurs avantages. Le rotor est constitué de deux disques dentés mécaniquement. Les dents aimantées de chaque couronne rotorique sont perçues par le stator comme autant d'aimants permanents, l'interaction de ces aimants avec les courants statoriques engendre un couple électromagnétique identique à celui du moteur pas à pas à aimants permanents. Quand une paire de bobines est alimentée, le rotor place les dents Nord et Sud de telle façon que le flux traversant le rotor soit maximal. [5]

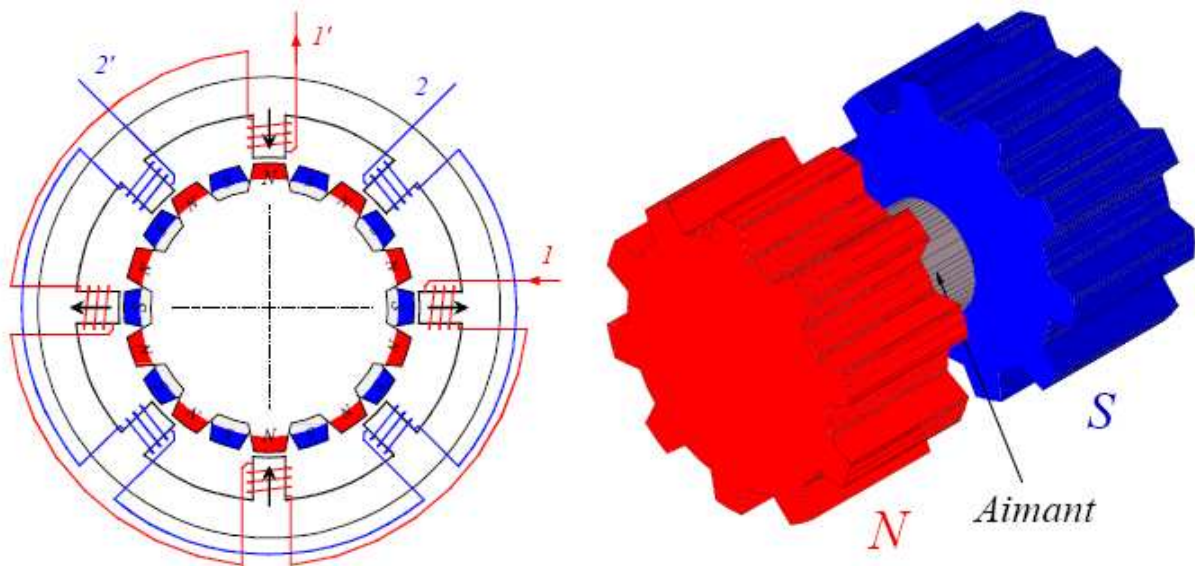


Figure 3.1 : Moteur hybride

Il existe plusieurs manières de commander ce type de moteurs celle choisie est la commande en boucle ouverte dont le principe de commande est représenté **figure 3.2** [6]

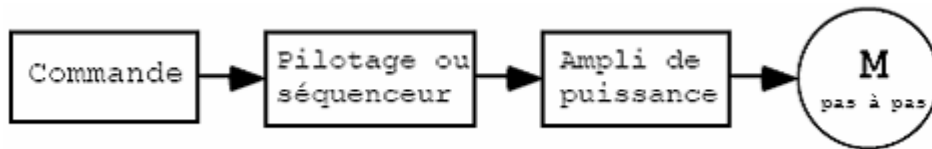


Figure 3.2 : Principe de commande d'un moteur pas à pas

Ce type de commande a donné lors de tests des résultats satisfaisants.

Le mode d'alimentation utilisée est du type **bipolaire double puissance**. Pour qu'il puisse circuler un courant dans les deux sens dans un moteur pas à pas, les points milieux des enroulements au stator ne doivent pas être utilisés. Chaque borne de chaque enroulement doit être alimentée successivement par une polarité positive puis négative (d'où le terme bipolaire). En inversant les polarités des enroulements statoriques, les pôles nord et sud au stator sont inversés.[7]

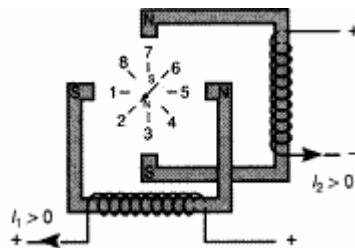


Figure 3.3 : Moteur 2 phases, 2 pôles au rotor, alimentation bipolaire

La rotation du moteur s'effectue par une séquence d'alimentation des divers enroulements de phases en bipolaire. L'alimentation en double puissance permet de multiplier le couple moteur par $\sqrt{2}$ et est illustré **figure 3.4**

Séquence de commutation	$i_1 > 0$	$i_1 < 0$	$i_2 > 0$	$i_2 < 0$	Position du rotor
①	1	0	1	0	2
②	0	1	1	0	4
③	0	1	0	1	6
④	1	0	0	1	8

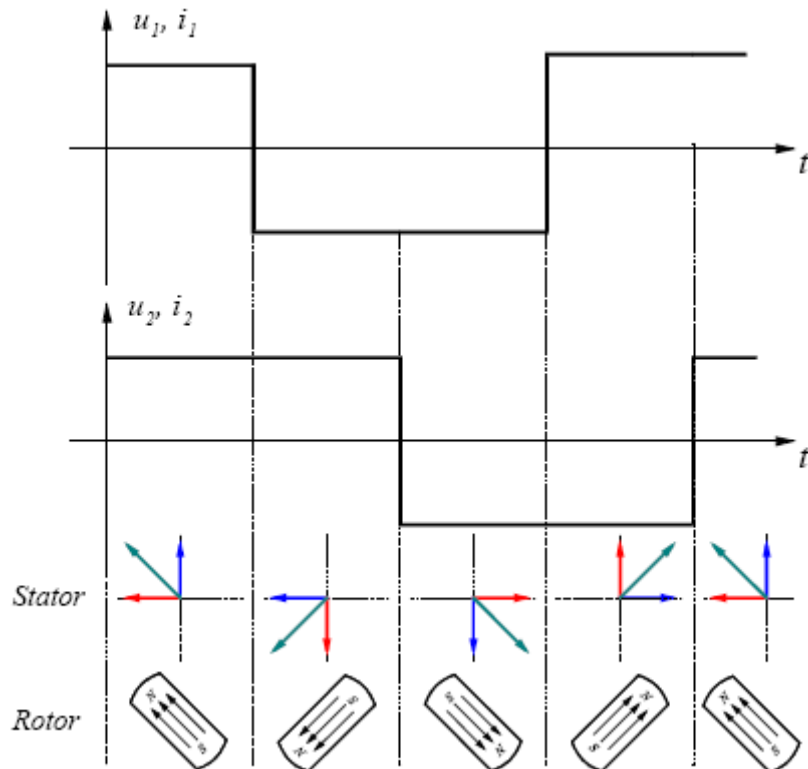


Figure 3.4 : Commande en double puissance

Le mode de fonctionnement utilisé est un **Fonctionnement en continu** : en effet si on élève assez la fréquence de commutation, le moteur arrive à un régime de vitesse quasi constant. C'est le **régime synchrone**. C'est la **vitesse limite** de bon fonctionnement du moteur.

Le dimensionnement des moteurs s'effectua par élimination ; en effet disposant d'un nombre limité d'actionneurs il était nécessaire de procéder à des essais afin de trancher quant aux moteurs à employer. Une paire de moteur Ayant tiré la plateforme sur laquelle reposait un poids de 6KG à une vitesse acceptable a été finalement choisie pour cette application. Ces deux moteurs présentent les caractéristiques suivantes :

Alimentation : 4.2V

Nombre de pas par tour : 200 qui correspond à 1.8° par pas.

Résistance interne : 3.6Ω

Rapport de réduction (système de réduction par courroie) : 10/29

Grâce aux moteurs pas à pas il est possible de déterminer l'angle exact de rotation de l'axe et par delà la distance parcourue horizontalement par le robot si les diamètres des roues, les dimensions du robot et le rapport de réduction imposé par le système à base de courroie sont connus exactement. Cette méthode s'appelle l'**odométrie**

Des calculs ont été menés dans ce sens et se sont avérés lors d'essais être imprécis à cause des erreurs de mesures des différentes constantes tel le diamètre des roues etc. Finalement de multiples tests consistants à faire tourner par exemple le robot de 10 tours ont permis de déterminer l'angle de rotation du robot à chaque pas des deux moteurs. Cette méthode de mesure permet d'éliminer les erreurs d'intégration. En effet pour 30000 pas il a été effectué 9,5 tours donc pour un pas du moteur le robot tournerait de 0,1141335362°

De plus, le fonctionnement en ligne droite sur une distance de 210cm a permis de déterminer le déplacement horizontal effectué à chaque pas. Il a fallu 7720 pas au moteur pour que le robot avance d'une distance de 2.10m ce qui implique que pour un pas la distance parcourue par le **POLYBOT** est de 0,2908mm.[8]

Il est à noter que la petitesse des déplacements et angles effectués par pas est dû à deux facteurs ; l'un inhérent aux moteurs qui tient au nombre de pas par tour dont dispose ces derniers, l'autre à la réduction apportée par le système de courroie qui présente un rapport de 10/29. Le calcul à reculons effectué avec ces résultats expérimentaux a permis de corriger certaines constantes comme le diamètre des roues qui est passé de 50mm à 53,7mm ainsi que la distance séparant chaque roue du centre du robot qui était théoriquement de 15cm et qui s'est révélée être de 14,615cm en pratique.

III.2 Entraînement du système de ramassage :

L'actionneur choisi pour ce mécanisme est à courant continu. Ce choix s'explique par le fait qu'il fallait une rotation à grande vitesse pour saisir les déchets ; de plus ce mécanisme devant

fonctionner tout le long du match à la même cadence ; il a paru alors inutile de dédier une carte de commande à ce module Le moteur utilisé est alimenté à 24V

III.3 Entraînement du système de stockage :

L'actionneur utilisé pour ce module est du type pas à pas, ce choix se justifie par le fait qu'il fallait commander le moteur en position. Le travail ayant déjà été effectué pour le mécanisme des roues, il s'agissait juste de reprendre les calculs moyennant de nouveaux paramètres imposés par les caractéristiques propres au nouveau moteur. Ces derniers sont :

Alimentation : 24V

Fréquence : 50Hz

Puissance : 3.6 Watts

Nombre de pas par tours : 800

Rapport de réduction (système de réduction par courroie) : 5/6

Ainsi après suivi du même processus d'essais exposé précédemment lors de la description du mécanisme des roues motrices. Le moteur après réception d'un ordre émanant des capteurs, le détecteur de présence en l'occurrence, tournera de 1740 pas pour permettre au mécanisme de se décaler de manière à libérer une place pour le prochain objet saisi.

III.4 Entraînement du système d'éjection

Le moteur utilisé est du type pas à pas. Le choix d'un moteur pas à pas ici aussi se justifie par une nécessité de commander en position l'actionnaire. En effet le moteur dévolu au fonctionnement du mécanisme d'éjection est sensé mouvoir horizontalement la plaque en métal devant accompagner la cannette vers l'extérieur puis la faire revenir à sa position initial. Après essais le nombre de pas nécessaire à cette opération est 404 pas

III.5 Etage de puissance :

L'étage de puissance est formé de plusieurs ponts en H l'un d'eux est représenté sur la **figure 4.5**. Chaque moteur nécessitant deux de ces ponts. [9]

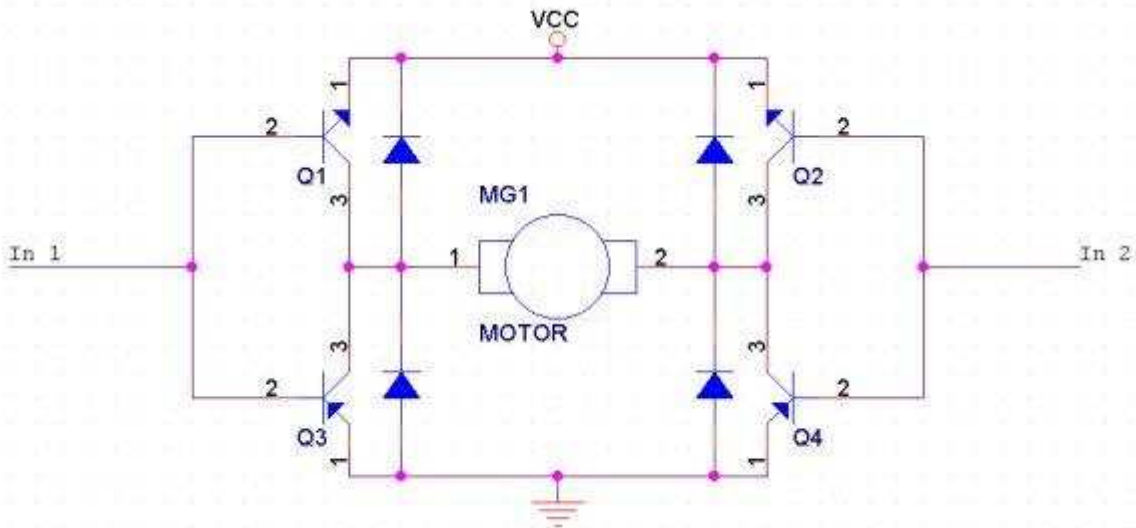


Figure 4.5 : Pont en H

Des ponts en H intégrés dans un driver **L298** ont été utilisés. Le **L298** est un Dual Full Bridge Driver ; c'est à dire qu'il contient deux ponts en H intégrés (sans les diodes de roue libre) ; avec une tension d'alimentation maximale de 50 volts et capable de transmettre un courant atteignant les 3A. Il se présente dans le commerce sous forme d'un boîtier à 15 broches tel illustré sur la **figure 4.6** [10]

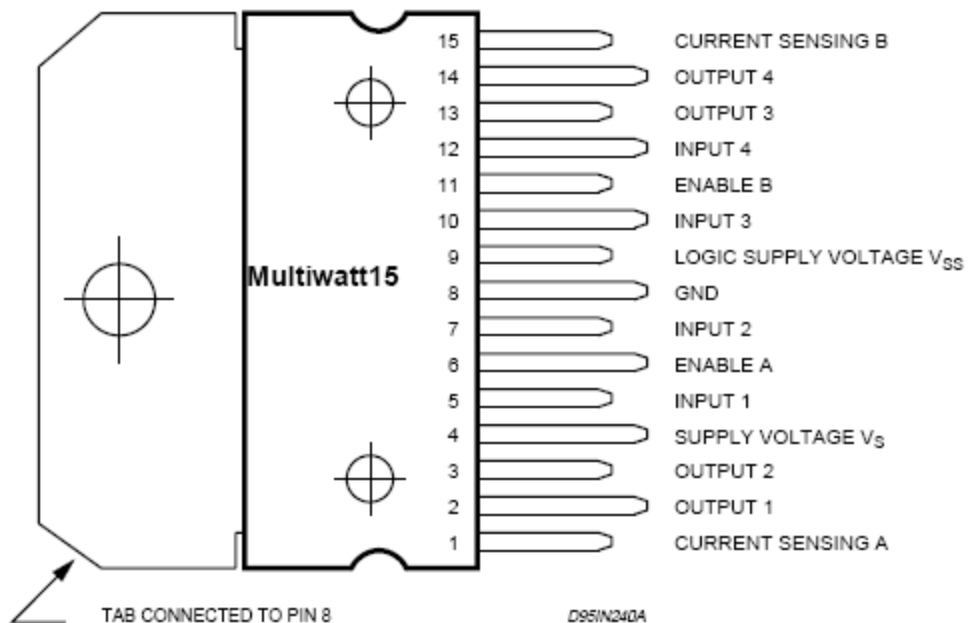


Figure 4.6 : L298 dans un boîtier Multiwatt15

Sur la **figure 4.7** est donné le diagramme bloc détaillant la structure interne du circuit intégré

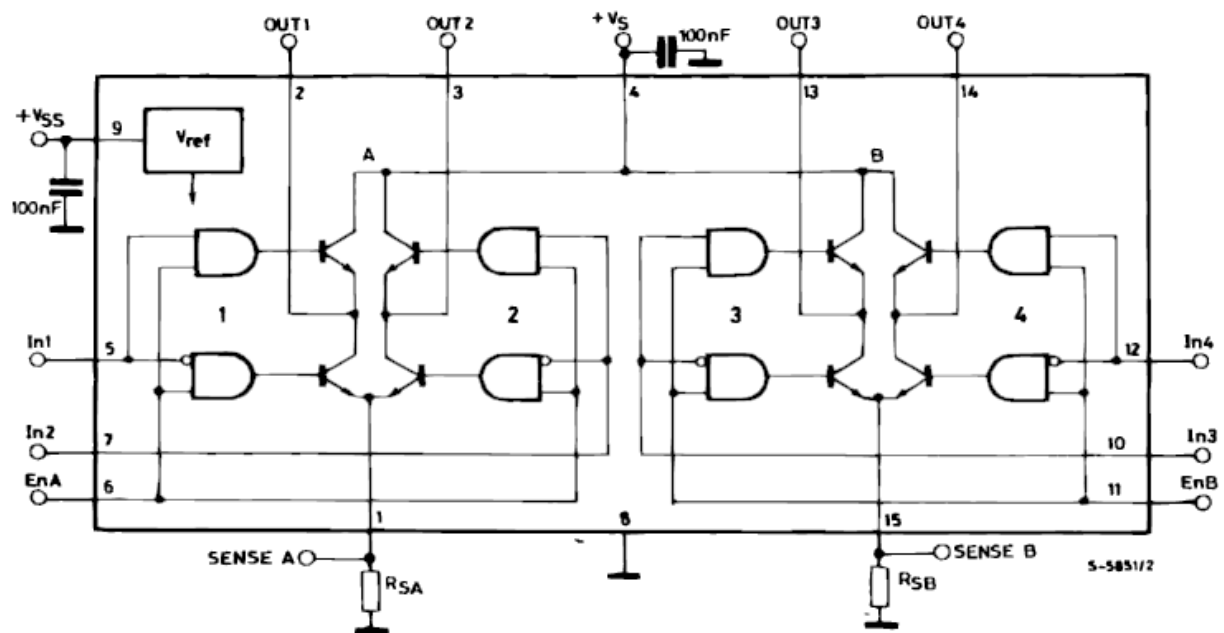


Figure 4.7 : Diagramme bloc du L298

Voici un **L298** tel vendu dans les magasins d'électronique représenté **figure 4.8**

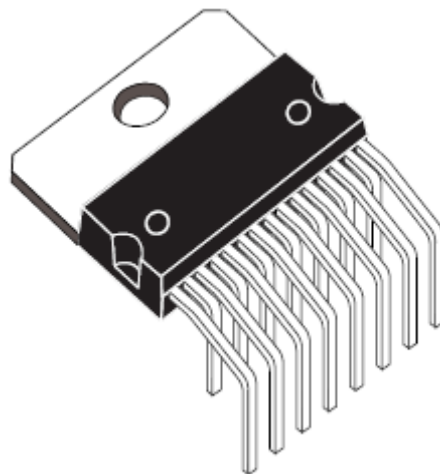


Figure 4.8 : Forme commerciale du L298

Comme le montre la **figure 4.7** le **L298** contient 6 entrées et 4 sorties en plus des trois broches d'alimentation. En effet une tension V_{SS} sensé alimenté la partie logique du

composant doit être relié à une alimentation de 5V. La tension V_s est la tension avec laquelle sera alimenté le moteur. Le point Gnd. constitue la masse du circuit intégré. Les trois sorties doivent être reliées aux deux bobines du moteur. En ce qui concerne les deux entrées Enable ; chacune destinée à valider le fonctionnement d'un des ponts en H qui lui est associé ; elles ont toutes deux été reliées à la broche V_{ss} ce qui implique que les deux ponts sont en permanence validés.

Conclusion :

Lors de ce chapitre les types et caractéristiques des moteurs utilisés ont été mis en évidence. Il a aussi été abordé la manière avec laquelle s'effectue l'entraînement des moteurs de chaque mécanisme constituant le robot (comptage de pas etc.). En dernier lieu, une description de l'étage de puissance ainsi que les drivers utilisés pour réaliser ce module a été donnée Plus loin il sera traité des différents points liés à l'électronique de commande et de détection.

Chapitre IV :

Electronique de

commande et de

détection

Un schéma bloc général, traduisant une étude du système par les signaux a été élaboré en vue de planifier la réalisation des cartes de commande et de détection.

IV.1 Schéma bloc général

La **figure 4.1** illustre les différents signaux d'entrées sorties dérivants de chaque module ainsi que les interactions existantes entre eux.

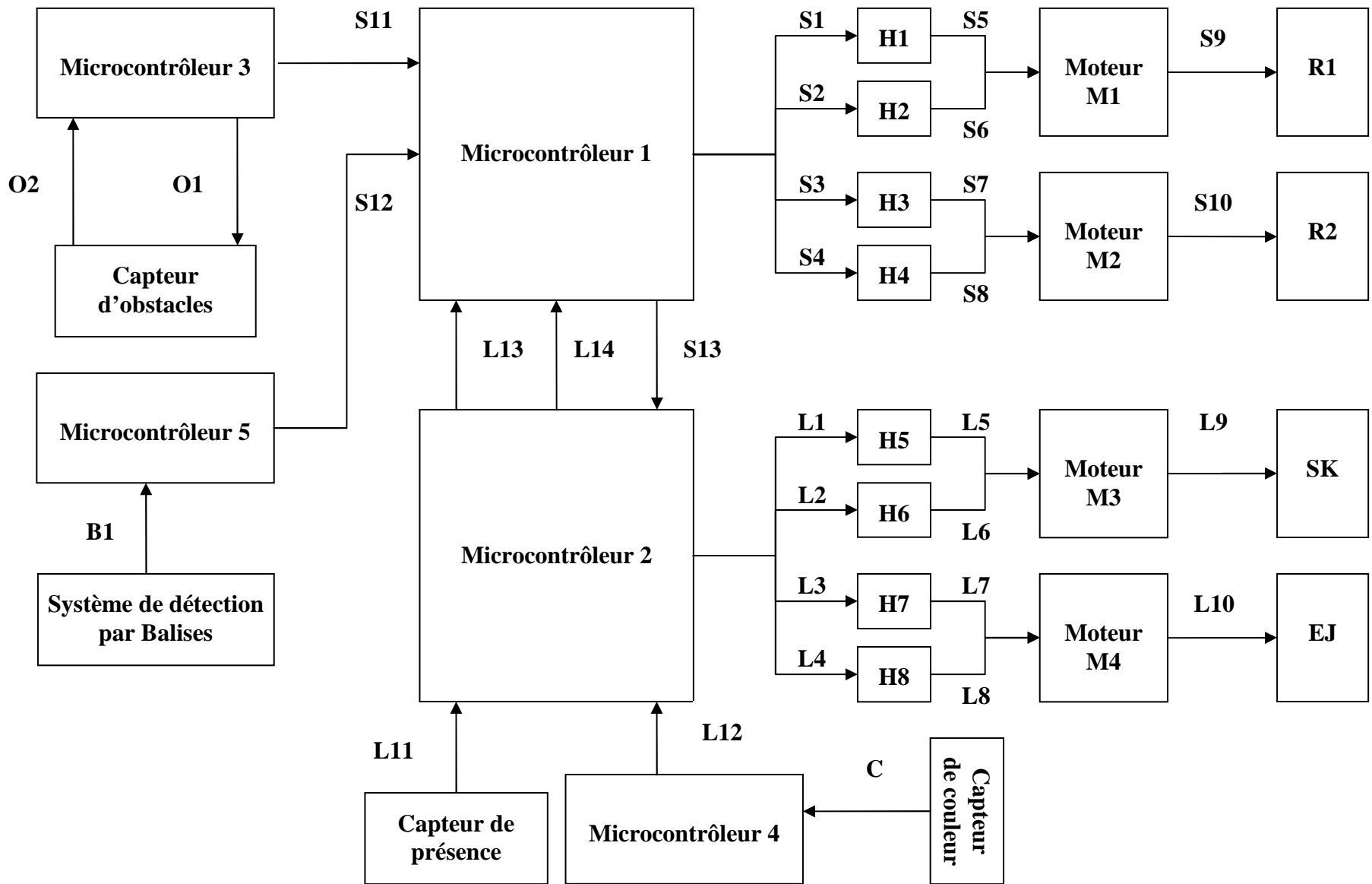
Au démarrage le microcontrôleur 1 envoie des impulsions selon le mode d'alimentation double puissance aux ponts en H qui transmettent ainsi la puissance nécessaire aux moteurs M1 et M2 faisant tourner les roues R1 et R2 en vue de déplacer le robot.

Une fois un objet saisi, le capteur de présence signal au microcontrôleur 2 qu'il y a bien un déchet dans le compartiment, ce dernier envoie alors les impulsions au moteur M3 entraînant le mécanisme de stockage SK qui se décale d'un pas libérant ainsi une position pour le prochain objet à ramasser.

Un compartiment plus haut, le capteur de couleur distingue une bouteille d'une cannette sauvegardant cette information dans le microcontrôleur 2 en vue de son utilisation ultérieure. Le microcontrôleur 2 est supposé compter le nombre d'objets ramassés qui correspond au nombre de fois que le capteur de présence a transmis un signal. Une fois la capacité de stockage maximale atteinte, ce dernier envoie un signal au microcontrôleur 1 qui dirige le robot moyennant les impulsions appropriées vers les poubelles. Dès que le robot atteint le point d'éjection, le microcontrôleur 1 envoie au microcontrôleur 2 un signal indiquant à ce dernier que la procédure de dépôt peut démarrer. Aussitôt que l'éjection des déchets est terminée le microcontrôleur 2 envoie au microcontrôleur 1 l'ordre de reprendre la trajectoire et ainsi de suite.

Au fur et à mesure que le robot se déplace le microcontrôleur 3 envoie un signal au microcontrôleur 1 à chaque fois que le détecteur d'obstacle capte un danger. De plus en des points bien précis le microcontrôleur 5 pilotant le système de détection par balise corrige la position du robot via le microcontrôleur 1.

Figure 4.1 : Schéma bloc général



IV.2 Microcontrôleur 1

Le microcontrôleur 1 est chargé du fonctionnement de la plateforme mobile. C'est de lui qu'émanent les signaux de commande destinés à piloter les drivers constituant l'étage de puissance, en l'occurrence les ponts en H notés Hi dans ce cas. Les ponts en H à leurs tours alimentent les moteurs pas à pas qui font tourner les roues déplaçant ainsi la plateforme.

IV.3 Microcontrôleur 2

Le microcontrôleur 2 fait fonctionner le mécanisme de stockage (SK) ainsi que le mécanisme d'éjection (EJ). C'est lui qui transmet les impulsions de commande aux drivers L298 de l'étage de puissance. Ces drivers alimentent alors les moteurs du mécanisme SK et EJ.

IV.4 Microcontrôleur 3

Le microcontrôleur 3 est celui qui s'occupe de la transformation de l'information donnée par le détecteur d'obstacle en un signal tout ou rien exploitable par le microcontrôleur 1

IV.5 Microcontrôleur 4

Le rôle de ce microcontrôleur est de transformer le signal analogique transmis par le capteur de couleur en un signal numérique exploitable par le microcontrôleur 2. Il s'agit donc d'une conversion analogique/numérique. De plus le μC 4 discrimine la couleur verte en n'émettant un signal au μC 2 que lorsque ce dernier est supérieur à 2.7 volts il joue alors le rôle d'un comparateur.

IV.6 Microcontrôleur 5

Le microcontrôleur 5 s'occupe des traitements nécessaires au bon fonctionnement du système de localisation par balises

IV.7 Les microcontrôleurs utilisés :

Comme le montre la **figure 4.1** l'électronique de commande vouée à faire fonctionner le robot est réalisée autour de microcontrôleurs. Le microcontrôleur étant un microprocesseur auquel on a intégré divers périphériques, en particulier la mémoire contenant le programme à exécuter et un circuit spécialisé qui permet au microcontrôleur de dialoguer avec l'extérieur.

Il existe de nombreux types de microcontrôleurs, notre choix s'est porté sur la famille des PIC mise au point par la firme Microchip Technologie.[11]

La famille des PICs est subdivisée en 3 grandes familles : La famille Base-Line, qui utilise des mots d'instructions de 12 bits, la famille Mid-Range, qui utilise des mots de 14 bits (et dont font partie les 16F84 et 16F876), et la famille High-End, qui utilise des mots de 16 bits. Par la suite, d'autres familles sont apparues, comme la Enhanced family, et les choses ne devraient faire qu'évoluer.[12]

Pour identifier un PIC, nous utiliserons simplement son numéro. Les 2 premiers chiffres indiquent la catégorie du PIC, 16 indique un PIC Mid-Range. Vient ensuite parfois une lettre L : Celle-ci indique que le PIC peut fonctionner avec une plage de tension beaucoup plus tolérante. Ensuite, nous trouverons :

C : indique que la mémoire programme est une EPROM ou plus rarement une EEPROM

CR : pour indiquer une mémoire de type ROM

F : pour indiquer une mémoire de type FLASH.

Puis nous constaterons que les derniers chiffres identifient précisément le PIC. (84) Finalement nous verrons sur les boîtiers le suffixe « -XX » dans lequel XX représente la fréquence d'horloge maximale que le PIC peut recevoir. Par exemple -04 pour un 4MHz. Donc, un 16F84-04 est un PIC Mid-Range (16) dont la mémoire programme est de type FLASH (F) donc réinscriptible de type 84 et capable d'accepter une fréquence d'horloge de 4MHz.

Le microcontrôleur 1 ainsi que **le microcontrôleur 4** sont des 16F876 pouvant se présenter sous deux boîtiers différents PDIP ou SOIC ; le plus répandu et celui utilisé est le PDIP.[14]

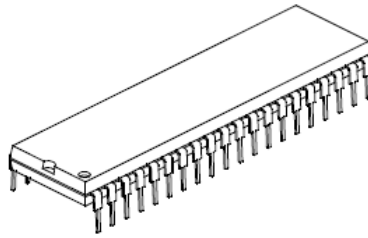


Figure 4.2 : 16F876 dans son boîtier PDIP

Le brochage de ce microcontrôleur est tel montré **figure 4.3**

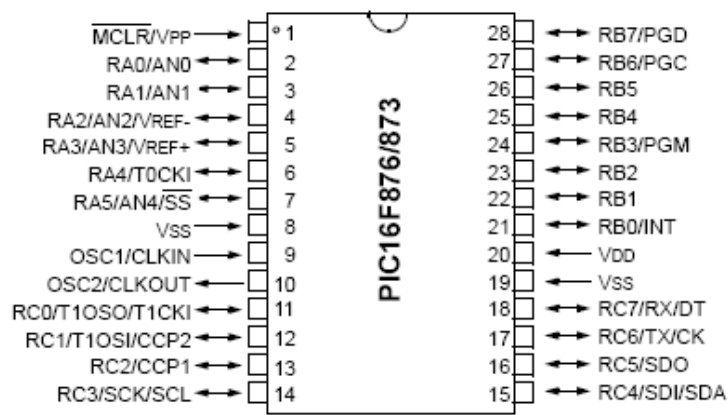


Figure 4.3 : Brochage du 16F876

Le 16F876 dispose de :

- 8Ko de mémoire flash (mémoire programme).
- 368 octets de RAM.
- 256 octets d'EEPROM.
- 22 broches d'E/S réparties sur 3 ports (A, B, C).
- 5 CAN (convertisseur analogique/numérique) d'une résolution de 10bits.
- Un port série de type USART/MSSP.
- 3 Timers.

Les microcontrôleurs 2, 3, 5 sont des 16F84A. Le brochage de ce microcontrôleur est donné **Figure 4.4**[15]

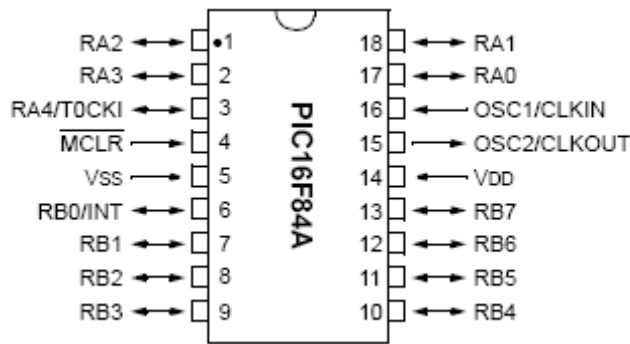


Figure 4.4 : Brochage du 16F84A

Le 16F84A dispose de :

- 1Ko de mémoire flash (mémoire programme).
- 13 broches d'E/S réparties sur 2 ports (A, B,).
- 68octets de RAM.
- 64 octets d'EEPROM.
- Un Timer

IV.8 Electronique des blocs constituant le robot :

IV.8.1 Electronique du bloc A :

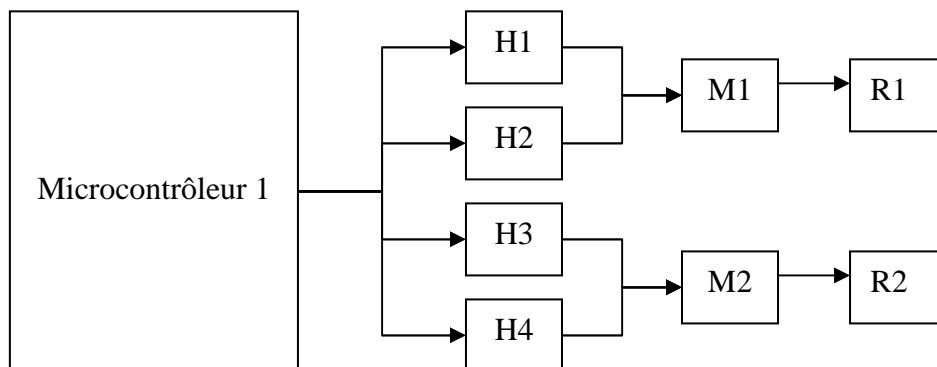


Figure 4.5 : Schéma du bloc A

Le schéma électronique de ce bloc donné **figure 4.6**

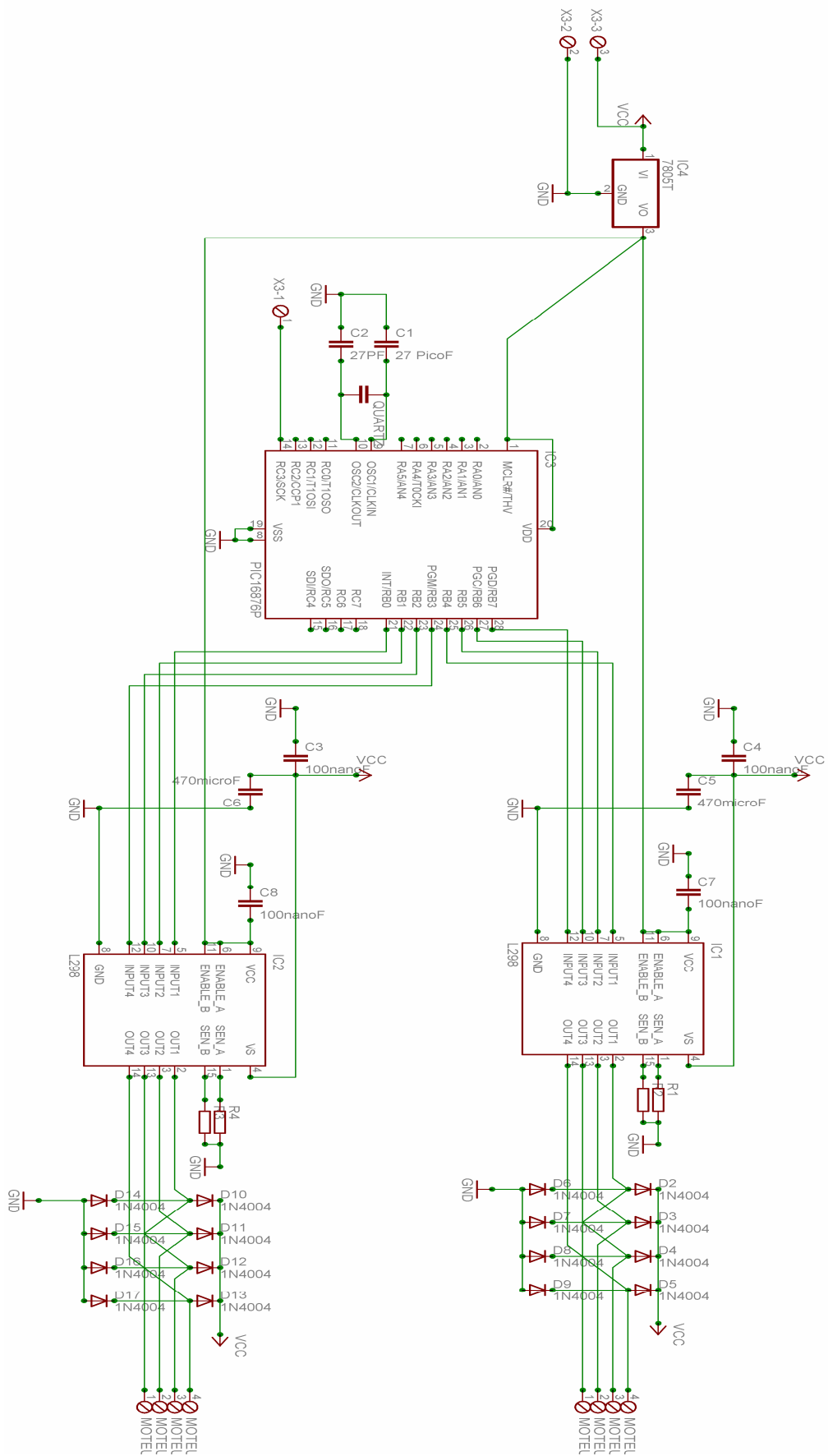


Figure 4.6 : Schéma électronique de la carte des roues motrices

Cette carte comprend plusieurs autres éléments hormis le 16f876 et le L298. Les condensateurs liés au quartz de 20MHz prévu pour cadencer le fonctionnement du pic sont d'une valeur de 15 pF. D'autres condensateurs dont la présence est recommandée certes mais facultative servant au découplage sont liés aux L298. Des résistances de sensibilité permettant de limiter le courant dans les moteurs d'une valeur de 1Ω ont été utilisées. Enfin un régulateur 7805T est présent pour maintenir à 5 volts l'alimentation des différents composants logiques.

IV.8.2 Electronique du bloc B :

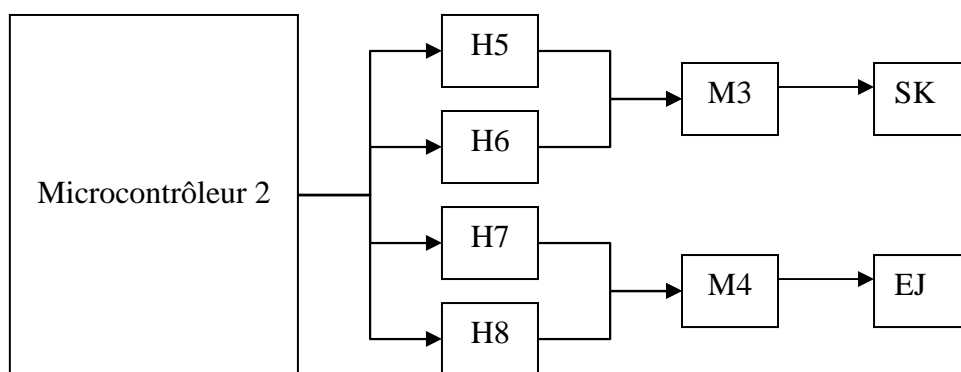


Figure 4.7 : Schéma du bloc B

Le schéma électronique de ce bloc donné **figure 4.8**

Cette carte diffère de celle réalisée pour le bloc A, par l'utilisation d'un Pic 16F84 au lieu du 16F876. Le quartz à présent est de 4MHZ et les condensateurs qui lui sont associés ont une valeur de 27 pF. Des résistances supplémentaires d'une valeur de 330Ω ont été ajoutées. Ces dernières servent à la protection du Pic quand certaines de ses broches sont utilisées en entrées. Tel est le cas pour la communication avec les deux capteurs de présence et de tri.

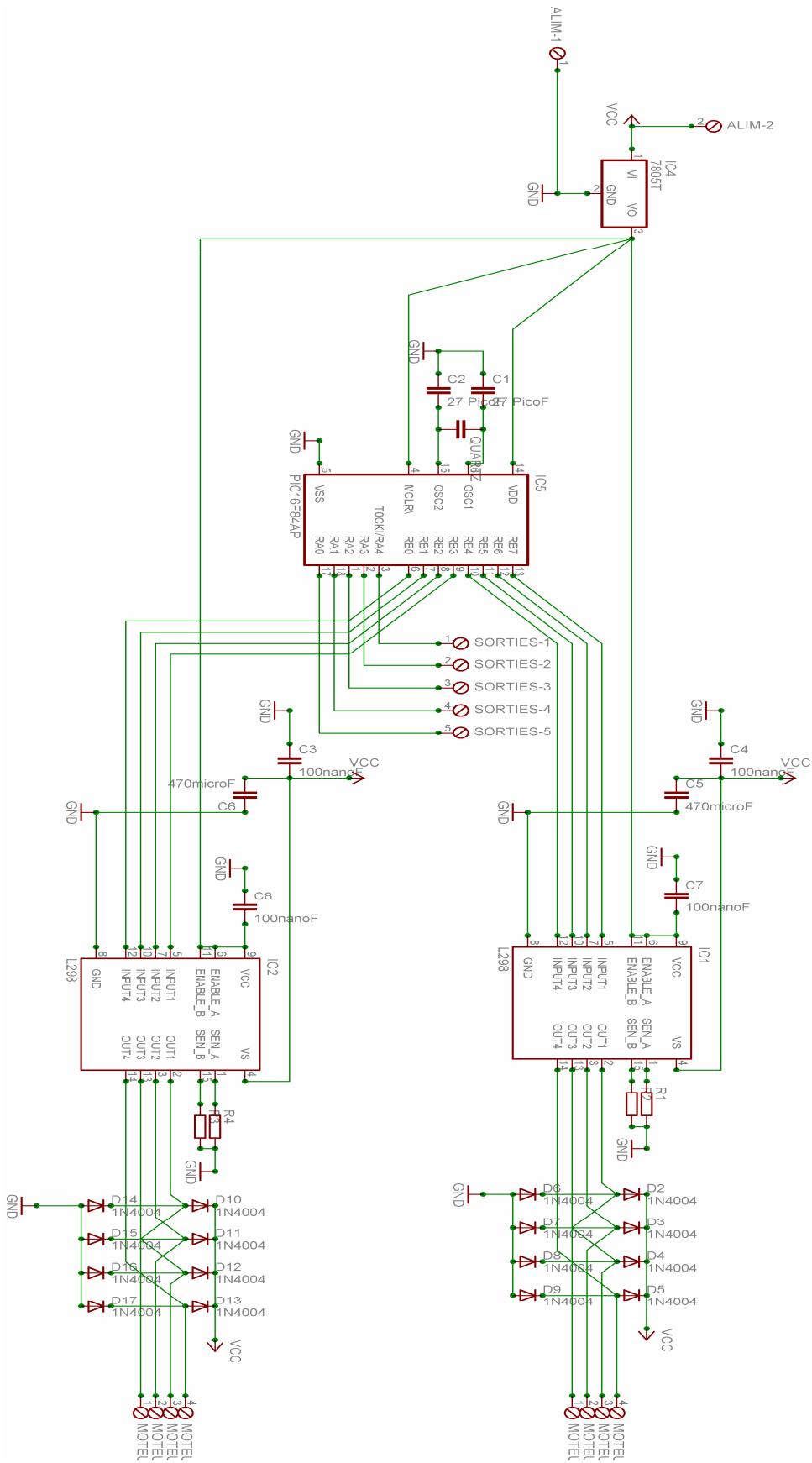


Figure 4.8 : Schéma électronique de la carte du mécanisme SK et EJ

IV.8.3 Capteur pour le tri :

Ce capteur est destiné à distinguer les objets dans les compartiments. Selon que ce soit une bouteille ou une cannette ; il devra transmettre cette information au microcontrôleur 2 qui la stockera en vue de son utilisation ultérieure. Dans le cahier des charges il est mentionné que les bouteilles sont peintes en vert tandis que les cannettes sont d'une autre couleur. Dès lors un **capteur de couleur** verte discriminant permettant de repérer la présence d'une bouteille constituerait un bon détecteur pour le tri.

En effet si la bouteille est présente le capteur répondrait positivement. Dans le cas où c'est une cannette il ne répondra pas donnant quand même une indication au microcontrôleur qui considérera la présence d'une cannette.

Le principe de fonctionnement consiste à envoyer une lumière de couleur verte sur un objet puis mesurer la tension recueillie aux bornes d'un récepteur sensible à la réflexion de cette lumière. Ainsi si un objet de couleur verte est attaqué par une lumière de même couleur l'intensité du rayon réfléchi est à son maximum tandis qu'elle régresse au fur et à mesure que la longueur d'onde de la couleur de l'objet réfléchissant s'éloigne de celle de la couleur verte se traduisant par une faible tension aux bornes du récepteur.[16]

Le schéma électronique du capteur est donné par la figure

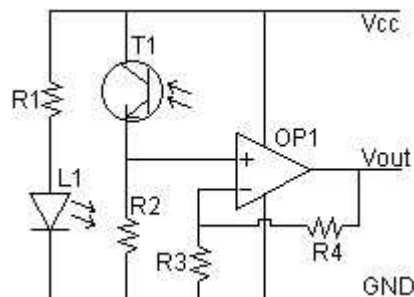


Figure 4.9 : Schéma électronique du capteur de couleur

Où $R1 = 150\Omega$, $R2 = 220K\Omega$, $R3 = 4.7K\Omega$, $R4 = 10K\Omega$ $V_{cc} = +5V$.

Comme indiqué sur le schéma électronique ; le capteur est à base d'une photorésistance T1 et d'une LED verte L1. Un amplificateur de type LM358P symbolisé par OP1 est utilisé pour amplifier la tension aux bornes de la photorésistance. Après essais, il s'est avéré que

l'intensité délivrée par une LED n'était pas suffisante. Donc 4 autres LED ont été ajoutées. Un potentiomètre de $20K\Omega$ a remplacé la résistance R3 afin d'ajuster le gain de l'amplificateur donné par $Gain = 1 + R4/R3$ selon la lumière ambiante.

Les essais consistant à faire varier la couleur de la surface réfléchissante a permis de tracer la courbe donnée par la **figure 4.10**

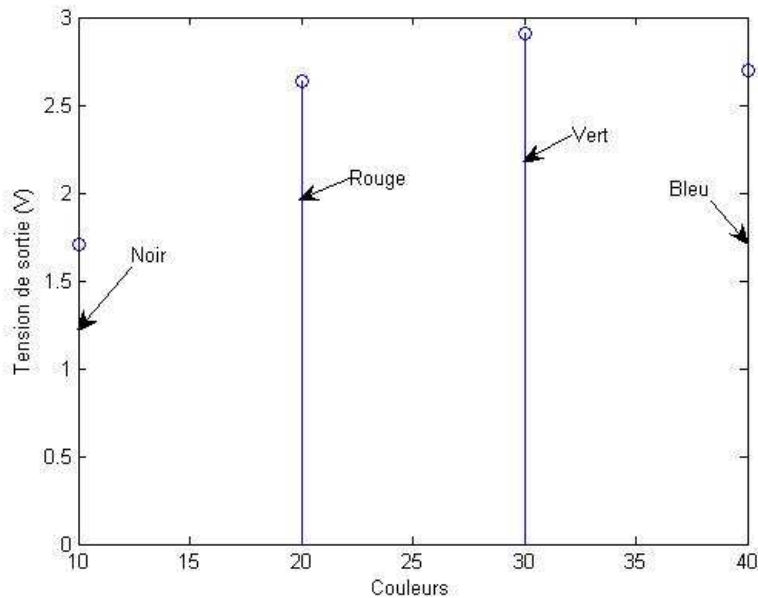


Figure 4.10 : Courbe de la tension de sortie en fonction de la couleur

Un microcontrôleur de type 16f876 a été rajouté au montage précédent en vue de faire une conversion analogique numérique de la tension recueillie aux bornes de la photorésistance afin de disposer d'un signal exploitable par l'électronique du robot. Il est aussi utilisé comme comparateur.

IV.8.4 Evitement d'obstacles :

Nous avons besoin d'un capteur permettant de détecter tout obstacle se trouvant à une distance critique du robot. La distance idéale aurait été de 40cm. En effet si un obstacle; le robot adverse en l'occurrence; devait se trouver à moins de 40cm du **POLYBOT**; ce dernier devrait l'éviter. Dans le cas où cette distance est supérieure à ces 40cm critiques le robot continuerait son parcours normalement. Ainsi il s'agissait juste d'élaborer un signal de type tout ou rien traduisant l'information y a-t-il obstacle ou pas et injecter ce signal dans le

microcontrôleur 1 où la trajectoire était implémentée; en vue de dérouter cette dernière en cas de danger. Pour l'évitement d'obstacles un télémètre infra rouge de type SHARP GP2D02 fut utilisé.



Figure 4.11 : Télémètre IR SHARP GP2D02

Ce dernier fonctionne selon un processus de triangularisation. Une impulsion lumineuse de longueur d'onde $850\text{nm} \pm 70\text{nm}$ est émise puis réfléchi. La réception du faisceau émis se fait avec un angle qui dépend de la distance de l'objet réfléchissant. Sachant cet angle la distance de l'obstacle est alors déterminée. [17]

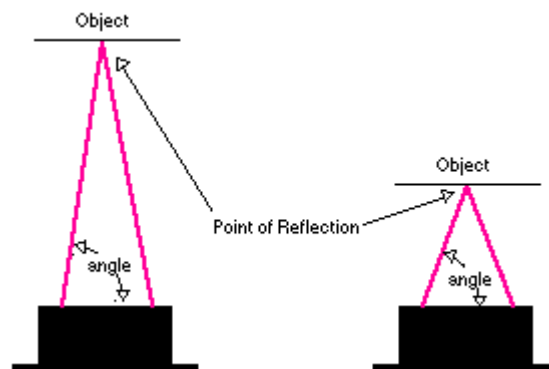


Figure 4.12 : illustration de la triangularisation du signal

Ce module présente; selon le constructeur; les caractéristiques suivantes :

- Mesure de distances avec une grande précision.
- Sortie numérique.
- Possibilité de changer la portée de détection en utilisant des lentilles.
- La distance mesurée sans ajout de lentilles varie de 4cm à 80cm

Son électronique interne est illustrée sur le schéma de la **figure 4.13**.

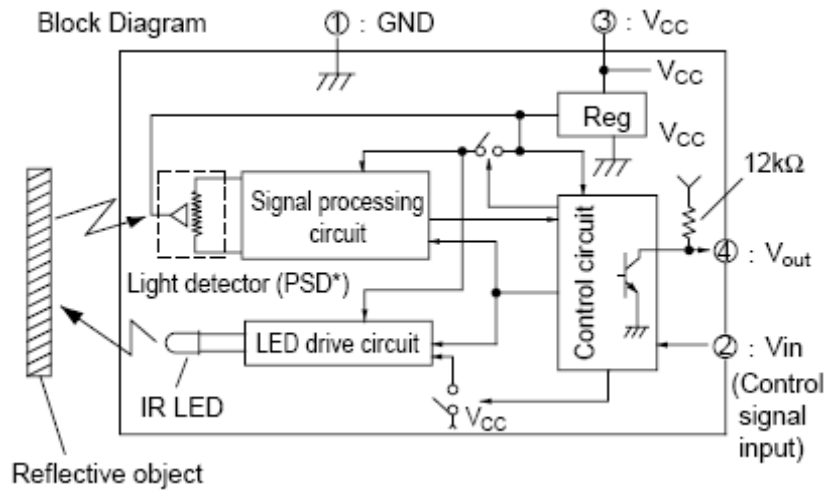


Figure 4.13 : architecture interne du GP2D02

Principe de fonction du GP2D02 :

Le GP2D02 comme le montre le schéma ci-dessus ; dispose de 4 broches. L'une (GND) à relier à la masse tandis qu'une autre (V_{CC}) à relier à une alimentation de 5v. Les deux autres pins à savoir V_{IN} et V_{OUT} sont prévues pour la communication avec le microcontrôleur. V_{IN} reçoit le signal d'horloge nécessaire à la synchronisation de l'opération de transfert de la donnée. Tandis que V_{OUT} est la ligne par laquelle l'information « distance » est acheminé jusqu'au microcontrôleur. La transmission de l'information se fait en série par mot de 8 bits. Il faut savoir que le mot de 8 bits communiqué par le GP2D02 ne contient pas la distance effective à l'obstacle. Il s'agit de décoder cette information; une fois recueillie; selon la courbe représentée **figure 4.14** par exemple 40cm est représenté par une valeur décimale de 95 (DEC).

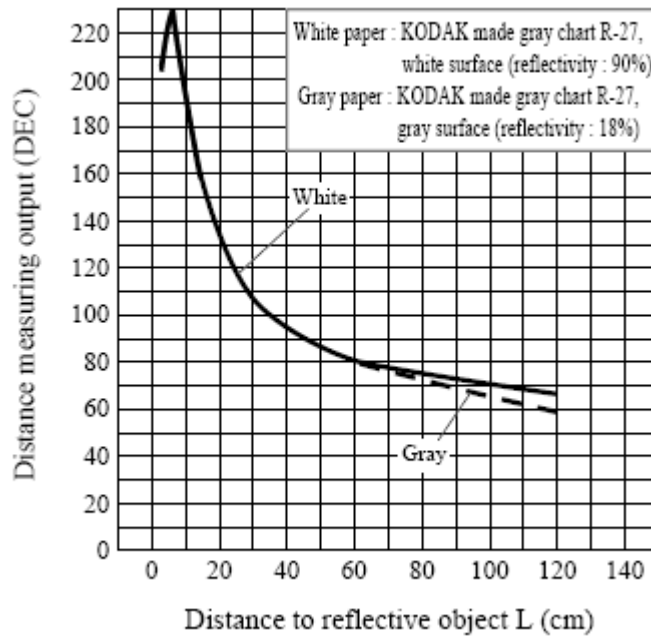


Figure 4.10 : courbe d'interprétation du mot de 8 bits

Une électronique à base de pic est celle adoptée pour le fonctionnement du GP2D02 le schéma de la carte est donné par la **figure 4.11**. Le microcontrôleur 16F84 dédié à cette application synchronise le fonctionnement du télémètre et reçoit l'information à décoder, traduire et acheminer vers le microcontrôleur 1.

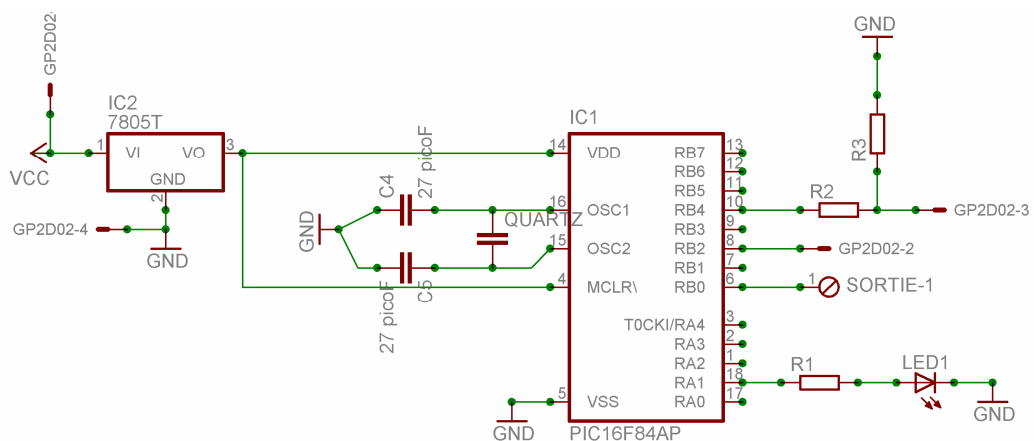


Figure 4.11 : Circuit électronique du GP2D02.

IV.8.5 Capteur de présence :

Barrière infrarouge :

Ce capteur sert à détecter la présence d'un objet dans un compartiment de l'ascenseur et à transmettre cette information au microcontrôleur 2. S'il y a présence d'un objet, un signal est transmis au microcontrôleur 2 pour exécuter la routine relative à l'avance d'un pas de l'ascenseur pour libérer une place. Le fonctionnement de la barrière infrarouge est tel suit :

En disposant un émetteur infrarouge face à un récepteur, ce récepteur se met à l'état actif niveau haut. Aussitôt qu'un objet s'interpose entre les deux composants le signal émanant de l'émetteur n'atteignant plus le récepteur ce dernier se met à l'état inactif niveau bas. Il sera tiré profit de ce phénomène pour traduire la présence d'un objet ou pas dans les compartiments.

IV.8.5.1 L'étage émetteur :

Comme le montre la **figure 4.12**, l'étage émetteur se compose de deux transistors Darlington NPN ZTX601 montés en multivibrateurs astables, capables de fournir des signaux carrés à une fréquence d'environ 1 kHz (voir figure3), utilisés pour piloter les deux diodes émettrices à infrarouges DTX1 et DTX2. Le schéma électrique montre que C1 (47 nF), relie le collecteur de TR1 à la base de TR2 et C4 (4.7 nF, soit dix fois moins), le collecteur de TR2 à la base de TR1. Avec ces deux capacités on obtient une onde carrée dont le rapport cyclique est égal à 1/10 (voir figure3) et donc les diodes émettrices conduiront en émettant des rayons infrarouges pendant 80µs et resteront éteintes pendant 920µs. Pendant les 80µs de conduction, les deux diodes consommeront 400mA pour obtenir un rayon assez puissant pour atteindre une portée de sept mètres. Cette forte consommation n'ayant lieu que pendant 80µs, la consommation moyenne de l'étage émetteur n'est que de 70mA.

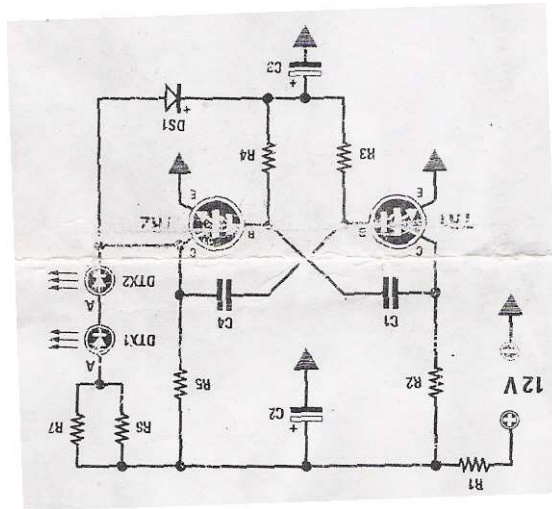


Figure 4.12 : Schéma électrique de l'étage émetteur produisant les impulsions à onde carré à 1KHz

IV.8.5.2 L'étage récepteur :

Comme le montre la figure 4.13, l'étage récepteur comporte deux circuits intégrés ordinaires (IC1 est un LM358 contenant deux amplificateurs opérationnels et IC2 un HCF4093 constitué de quatre NAND) plus une diode réceptrice à infrarouges DRX1 BPW41 et un transistor NPN TR1. Le signal infrarouge émis par les diodes DTX1 et DTX2 de l'émetteur visible figure 2, est envoyé de façon à venir recouvrir la surface sensible de la diode réceptrice DRX1 du récepteur visible sur la figure 4.13. La cathode de cette dernière est reliée au pôle positif 12V à travers R1 (10 K Ω) et son anode est orientée vers R2 (330 K Ω).

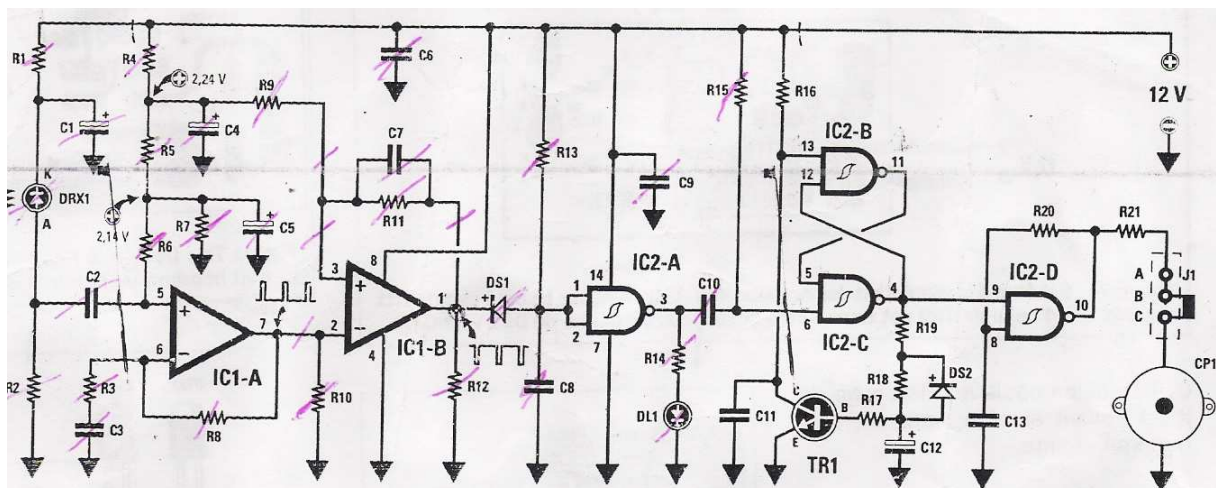


Figure 4.13 : Schéma électrique de l'étage récepteur

Quand cette diode réceptrice ne reçoit pas le rayon infrarouge, elle ne conduit pas. Dès que ce rayon l'atteint, un signal de 1KHz à impulsion sort de son anode et C2 le transfère à l'entrée non inverseuse de l'amplificateur opérationnel IC1-A. Les résistances montées sur l'entrée opposée inverseuse ($R8 = 22 \text{ K}\Omega$ et $R3 = 1 \text{ K}\Omega$) servent à produire une amplification d'environ 23 fois du signal de la diode réceptrice. C3 (330nF.), en série avec R3 (1 K Ω), constitue un filtre passe-haut servant à empêcher l'amplification du secteur 50Hz. Les impulsions amplifiées 23 fois sortent de la broche de sortie 7 du premier amplificateur opérationnel IC1-A pour être appliquées directement à la broche inverseuse du second amplificateur opérationnel IC1-B monté en comparateur de tension. La broche non inverseuse 3 de IC1-B est polarisée par une tension positive de référence de 2.24V seulement, donc quand les impulsions de 1KHz arrivant sur la broche inverseuse 2 dépassent cette valeur, de la broche de sortie de cet amplificateur opérationnel sort un signal formé par des impulsions positives atteignant 12V pendant 920 μ s avec des intervalles d'impulsions négatives de 80 μ s. DS1, à la sortie de IC1-B laisse passer ces impulsions négatives vers C8 (110nF.) pour qu'elles neutralisent la tension positive arrivant aux extrémités de ce condensateur à travers R13 (47 K Ω). Tandis que DRX1 ne reçoit pas le rayon infrarouge, aux bornes de C8 se trouve une tension positive infime (<0.95V) : cette tension étant appliquée à l'entrée de la première NAND IC2-A montée en inverseur, elle est considérée comme niveau logique 0. Alors, La sortie de IC2-A se met à un niveau logique 1, soit à une tension de 12V allumant DL1.

Si pour un quelconque motif, le rayon infrarouge couvrant la diode réceptrice était interrompu, les impulsions de 1kHz ne se trouveraient plus à la sortie du second amplificateur opérationnel IC1-B. Par conséquent, DS1 ne pouvant plus envoyer aucune impulsion négative à C8, ne pourrait plus le maintenir déchargé, c'est-à-dire au niveau logique 0. L'entrée de la NAND IC2-A passerait donc au niveau logique 1 à travers R13 et sa sortie au niveau logique 0 : la tension positive à la sortie de IC2-A venant ainsi à manquer, DL1 resterait éteinte.

En résumé DL1 s'allume seulement quand le rayon infrarouge couvre le PW41 et s'éteint quand ce rayon est interrompu.

La sortie de la NAND IC2-A est reliée à travers C10 à la broche d'entrée 6 de la seconde NAND IC2-C laquelle, avec la NAND IC2-B, constitue un FLIP-FLOP du type « set/reset ». Quand DL1 est allumée, R15 force la broche 6 du FLIP-FLOP composé de IC2-C et IC2-B au

niveau logique 1 et sur la broche de sortie 4 de IC2-C nous avons un niveau logique 0, soit aucune tension. Par conséquent, la NAND IC2-D reste bloquée.

Si le rayon infrarouge est interrompu, même très brièvement, DL1 s'éteint, ce qui produit une impulsion négative laquelle, passant à travers C10, atteint la broche 6 de la NAND IC2-C et fait commuter le FLIP-FLOP « set/reset » : sur la broche de sortie 4 de IC2-C se trouve donc un niveau logique 1 faisant conduire la NAND IC2-D. Ce même niveau logique 1 correspondant à une tension positive, charge à travers R19 et R18 l'électrolytique C12 pendant un maximum de neuf secondes. Quand ce condensateur atteint sa charge maximale, TR1 se met à conduire et court-circuite à la masse la broche 13 de la NAND IC2-B qui fait commuter à nouveau le FLIP-FLOP « set/reset ». Sur la broche 4 de la NAND IC2-C se trouve un niveau logique 0 déchargeant C12 et bloquant le fonctionnement de la NAND IC2D.

IV.8.6 Système de localisation par balise :

L'utilisation de l'odométrie malgré la précision des moteurs pas à pas accrue par le système de réduction par courroie engendre des erreurs d'intégration à long terme.

Le système de localisation par balise vient pallier à cet inconvénient en réajustant la position du robot à des endroits stratégiques. Son fonctionnement ressemble à celui des tourelles utilisées pour détecter les avions.

Il s'agit de concevoir trois balises émettrices disposées selon une configuration triangulaire sur l'aire de jeu. Un moteur pas à pas sert à faire tourner un récepteur posé au point milieu du toit. Il faut signaler que le robot doit rester immobile lors du test de réception des signaux émis par les balises.

Dès que le récepteur intercepte le signal émanant d'une première balise ; un microcontrôleur commence le comptage du nombre de pas avec lequel le moteur a tourné ; avant que le récepteur n'intercepte le signal provenant de la deuxième balise. Idem pour la troisième. Le nombre de pas sert à calculer l'angle formé par le robot et la balise. Les trois angles servent à définir la position du robot en cet instant du test.

La **figure 4.14** illustre ces explications :

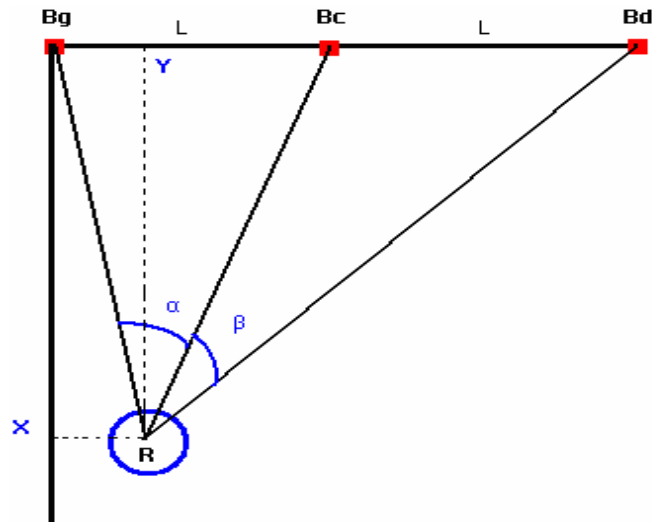


Figure 4.14 : Explication des formules de triangulation

Afin d'exploiter l'information donnée par les balises, nous utilisons la méthode de triangulation des angles. Elle permet d'obtenir les coordonnées X et Y de position en fonction des angles α et β (**figure**) formés entre le robot et les trois balises disposées sur le terrain.

$$a.Y^2 + b.Y + c = 0$$

$$X = (2/T) \cdot (Y-L)$$

Avec :

$$a = (4+T^2) \cdot (t/T)$$

$$b = (-2L/T^2) \cdot (4+T^2) \cdot t - 4.L/T$$

$$c = (4.L^2 \cdot t)/T^2 + 4.L^2/T$$

$$t = \text{Tan}(\alpha+\beta)$$

$$T = (\cos(\beta)/\sin(\beta)) - (\cos(\alpha)/\sin(\alpha))$$

L'orientation θ du robot est donnée par : $\theta = \pi - \psi - \text{ArcTan}(X/Y)$

Où ψ est l'angle entre la position de départ et la position de la première balise.

IV.8.9 Alimentation :

N'ayant pas eu les moyens en termes de temps et d'argent pour munir le robot d'une énergie autonome il a quand même été réalisé une carte des alimentations destinée à distribuer l'énergie aux autres cartes. La carte est à base de régulateurs de 5v et 12v.

Dans ce chapitre consacré à l'électronique de commande et de détection, le problème posé par le cahier des charges a été abordé du point de vu des signaux. L'étage de commande constitué principalement de microcontrôleurs a été détaillé donnant le type de microcontrôleurs utilisés ainsi que toute l'électronique requise pour faire fonctionner le prototype. De plus, Les capteurs dont dispose le robot pour évoluer dans son environnement ont été exposés avec l'architecture des circuits périphérique nécessaire à leur bon fonctionnement.

Dans ce qui suit ; il sera abordé les techniques utilisées lors de la programmation des microcontrôleurs.

Chapitre V :

Stratégie et

Programmation

Introduction :

Ayant la distance parcourue et l'angle par pas avec lequel tourne le robot il est aisé sachant la position initiale de définir à chaque instant la position du robot dans un repère {0,x,y}. Dès lors connaissant à priori l'aire de jeu sur lequel le prototype aurait à se mouvoir, il était possible de lui définir une trajectoire. Un tableau, contenant les positions du robot et son orientation à chaque instant ainsi que les déplacements rectilignes et angulaires devant s'effectuer en chaque point de la trajectoire, a été dressé. Il est présenté en annexe.

Dans le tableau des trajectoires x , y , θ sont respectivement les coordonnées dans le plan horizontal et l'orientation du robot.

$$\varphi = \text{Arctg}\left(\frac{y}{x}\right) - \theta_{\text{précédent}} \quad (1)$$

$$D = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (2)$$

φ et D sont respectivement l'angle et la distance à parcourir par le robot pour atteindre le point suivant du parcours.

V.1 Stratégie

Afin d'éviter le robot adverse et à dessein de procéder à une manœuvre d'évitement à peu près identique en vue de faciliter son implémentation, un deuxième parcours s'efforçant d'être parallèle autant que possible au premier a été élaboré. Ce dernier cependant devra permettre au robot de satisfaire à ses objectifs de ramassage. Il est donc nécessaire que ce parcours passe par des endroits forts en probabilité de contenir des bouteilles et cannettes.

La **figure 5.1** montre la trajectoire implémentée.

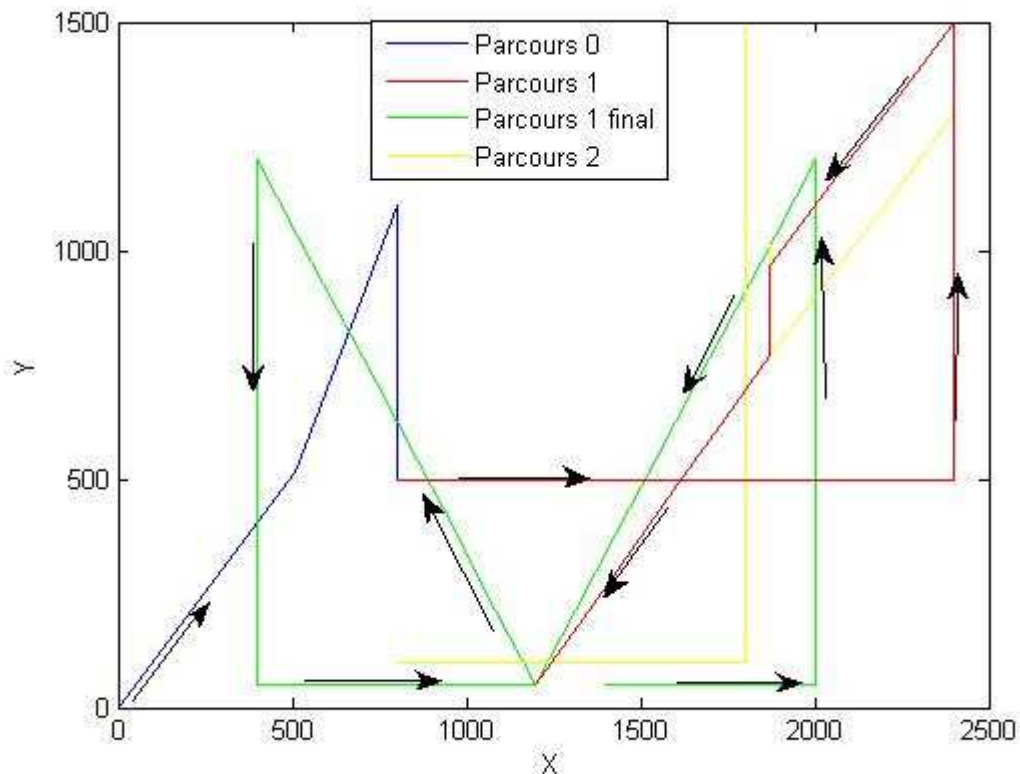


Figure 5.1 : Trajectoire du robot

La **figure 5.1** indique qu'il est possible de diviser la trajectoire principale noté parcours1 du robot en 3 sous circuits

Le parcours 0 qui ne contient pas de correspondant dans le parcours 2 est la trajectoire poursuivie par le robot au démarrage, le robot adverse ne pouvant être à proximité du **POLYBOT** il a été omis de prévoir une trajectoire de secours comme il a été élaboré dans les autres circuits

Le parcours 1 menant le plus simplement vers l'endroit de dépôt est accompagné par le **parcours 2** qui lui reste parallèle, impliquant dès lors la même manœuvre d'évitement sur la plupart des points du circuit

Le parcours final 1 se distingue du parcours 1 par le caractère répétitif de ce dernier puisque c une boucle que va former le robot jusqu'à la fin du temps réglementaire mais aussi par la manière, consistant en une simple rotation de 180°, d'éviter les obstacles.

V.2 Programmation

La programmation s'est faite en assembleur sur la base du compilateur MPLAB que fournit gratuitement la société MICROCHIP sur son site. Une fois la programmation achevée le compilateur assemble le code et livre un fichier .HEX à implémenter, via des programmeurs, dans la mémoire programme du PIC. Nous disposions à cet effet d'un JDM : le classique en matière de programmeurs des PICs Mid-Range.[18]

V.2.1 Programmation du microcontrôleur 1 :

L'architecture du programme est donnée par l'organigramme **O1** en annexe

Le programme est à base de procédures.

- **Procédure d'alimentation des moteurs** : Cette dernière est formée de quatre fonctions distinctes chacune destinée à alimenter le moteur différemment

Doite11 : alimentation pour un fonctionnement en ligne droite avant

Droite00 : alimentation pour un fonctionnement en ligne droite arrière

Tourne01 : alimentation pour un fonctionnement en rotation vers la droite

Tourne10 : alimentation pour un fonctionnement en rotation vers la gauche

- **Procédures « mécanisme plein »** : Ces procédures contiennent les trajectoires à suivre dans le cas où un signal émanant du microcontrôleur 2, indiquant que la capacité de stockage maximale a été atteinte, est réceptionné.
- **« évitement d'obstacles »** : Ces fonctions comprennent les différentes manœuvres d'évitement d'obstacles à entreprendre selon l'endroit où se trouve le robot.
- **« Temporisations »** : plusieurs fonctions de temporisations ont été utilisées.
- **« Trajectoires »** : Cette dernière contient les trajectoires principale et secondaire du robot.

V.2.1.1 Temporisations :

Le Pic 16f876 est cadencé par une horloge de 20MHz. Sachant que l'horloge fournie au PIC est pré divisée par 4 pour donner la durée d'un cycle il en découle que ce Pic dispose de 5000000 de cycles/seconde, or, comme le PIC exécute pratiquement 1 instruction par cycle, hormis les sauts, cela donne une puissance de l'ordre de 5MIPS (5 Million d'Instructions Par Seconde). Ainsi par simple décrémentation de compteurs chargés au préalable par des valeurs correspondant à la temporisation désirée il a été édité les procédures dites de « temporisation ».

V.2.1.2 Procédure d'alimentation des moteurs

La procédure d'alimentation des moteurs consiste en 3 étapes. Il est question dans un premier temps de transmettre les impulsions via le périphérique d'entrée/sortie, Port B dans ce cas, puis d'engager une temporisation correspondant à la fréquence d'alimentation voulue. Enfin vient la décrémentation d'un compteur qui contient le nombre de pas à effectuer pour atteindre le point désiré. Aussitôt que ce compteur s'annule le programme sort de la fonction et entame une nouvelle tâche.

V.2.1.3 Trajectoires

Le déplacement du robot sur le terrain se fait de point à point. Ainsi durant ce déplacement le robot ignore les éventuels obstacles ainsi que sa position instantanée. Par conséquent il fallait trouver un compromis conciliant précision ; temps de traitement et espace mémoire. La précision étant caractérisée par la distance entre chaque point. En effet plus cette distance est réduite plus le robot est précis, puisque les traitements comme l'évitement d'obstacles mais aussi « mécanisme plein » sont gérés une fois que la procédure d'alimentation des moteurs est terminée c'est-à-dire quand le robot atteint un point programmé.

A chaque fois que le robot atteint un point programmé ; les tests consistant à détecter un obstacle par exemple sont faits. Dès lors si la distance entre les points est réduite le nombre de test est augmenté ce qui diminue la vitesse de calcul du microcontrôleur. En conclusion le temps de traitement et la précision ont des objectifs antagonistes.

Il fallait d'un autre côté gérer cette faiblesse des microcontrôleurs qui ne permettent pas une augmentation de leur espace mémoire. Cela a été fait en diminuant le nombre de procédures d'**évitement d'obstacle** et de « **mécanisme plein** ». Nous nous sommes efforcés de rendre constante la distance séparant chaque point en vue d'utiliser cette redondance dans le programme pour économiser de l'espace mémoire.

V.2.1.4 Mécanisme plein et évitement d'obstacles

La procédure « mécanisme plein » contient deux trajectoires chacune démarrant d'un point différent situé sur le parcours final 1. Il faudra donc que le robot atteigne ces points et ait son mécanisme plein pour se diriger vers les poubelles. Comme illustré sur l'organigramme suivant.

La priorité fut donnée à la fonction « **évitement d'obstacles** » qui contient de nombreuses procédures.

V.2.2 Programmation du microcontrôleur 2 :

L'organigramme **O2** donné en annexe illustre la manière avec laquelle le programme du microcontrôleur 2 fonctionne.

Comme pour le microcontrôleur 1, le programme contient plusieurs procédures

- **Procédure d'alimentation des moteurs du mécanisme de stockage et d'éjection :**
La structure de cette procédure est identique à celle destinée à commander l'alimentation des moteurs de la plateforme.
- **Mécanisme de stockage:** Cette fonction comme son nom l'indique est limitée à faire fonctionner le mécanisme de stockage quand un objet est saisi et à indiquer si le mécanisme est plein.
- **Mécanisme de tri :** Cette partie du programme sauvegarde l'information relative à la nature du déchet ramassé (bouteille ou cannette).
- **Mécanisme d'éjection :** Cette dernière procédure s'occupe de la partie dépôt des objets dans les paniers.

V.2.2.1 Procédure d'alimentation des moteurs :

Comme dit plus haut, cette partie du programme est la même que celle du microcontrôleur 1 chargé de délivrer les impulsions à l'étage de puissance en vue de la commande des moteurs; hormis qu'ici le décomptage de pas se fait de manière constante c'est-à-dire que les compteurs ont toujours la même valeur initiale.

V.2.2.2 Mécanisme de stockage :

Cette routine enclenchée par le signal émanant du capteur de présence, indiquant qu'il y a saisi d'un objet, commence par le décompte du nombre d'emplacements vide au fur et à mesure que ces derniers se remplissent avec des objets ramassés. Par la suite cette fonction renvoie le programme vers la procédure d'alimentation des moteurs en vue de libérer une place pour le prochain déchet. Et ainsi de suite jusqu'à ce que la capacité de stockage maximale du robot soit atteinte. Alors, la procédure « **mécanisme plein** » positionne à l'état haut une des sorties du PIC vers le microcontrôleur 1 traduisant ainsi l'information.

V.2.2.3 Mécanisme de tri :

Le rôle de la procédure « **mécanisme de tri** » consiste à sauvegarder l'information concernant la nature de l'objet venant du microcontrôleur 4 dans un octet sous forme binaire. Un pour les bouteilles et zéro pour les cannettes. La lecture de ce mot par la suite permettra au mécanisme d'éjection de choisir l'une ou l'autre des voies d'expulsion du déchet.

V.2.2.3 Mécanisme d'éjection :

La fonction mécanisme d'éjection fait appel aux deux procédures d'alimentation des moteurs celle pour le moteur du mécanisme de stockage et celle pour l'actionneur du mécanisme d'éjection. Ainsi après relecture de l'octet contenant l'information « **bouteille ou cannette** » le programme éjecte les déchets soit en faisant fonctionner le mécanisme de stockage laissant ainsi tomber la bouteille soit en faisant fonctionner la cannette en éjectant latéralement cette dernière.

Il est à noter que le capteur de couleur est disposé deux compartiments plus haut par rapport au capteur de présence ce qui implique qu'une fois le mécanisme plein le robot contiendrait deux objets dont il ignore la catégorie. Pour pallier à cet inconvénient, la procédure d'éjection tandis qu'elle se charge d'expulser les objets, complète l'octet qui contient l'information relative à la nature de ces derniers.

V.2.3 Programmation du microcontrôleur 3 :

Le rôle de ce microcontrôleur est de synchroniser le fonctionnement du télémètre, recueillir le mot de 8 bits contenant l'information « distance » ; traduire cette dernière et la transmettre sous forme d'un signal tout ou rien au microcontrôleur 1.

Ci-dessous est donné le protocole de communication entre le microcontrôleur et le GP2D02

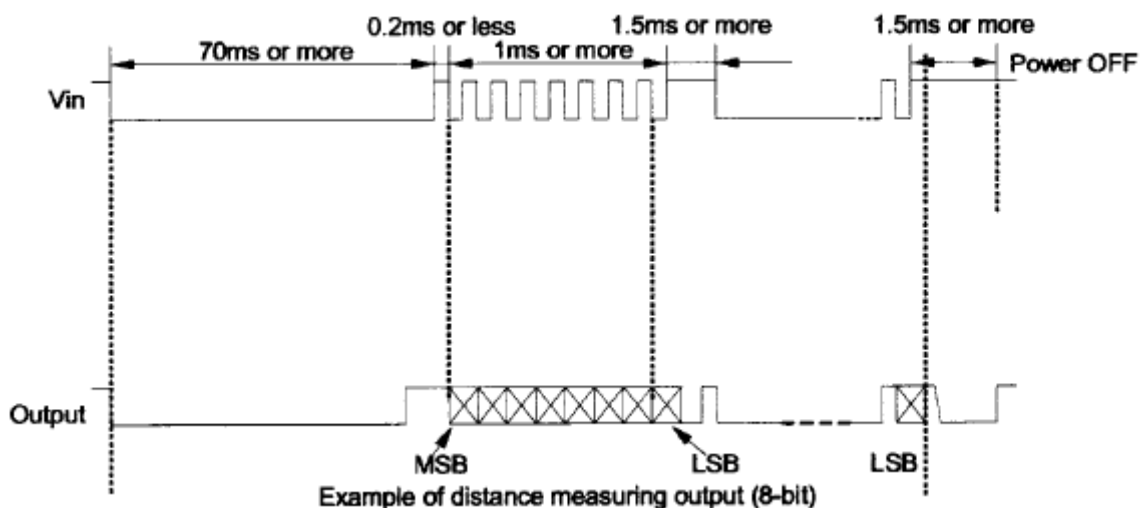


Figure 5.4 : Protocole de communication du GP2D02

Il s'agit côté programmation de simples temporisations à implémenter et de stocker dans un mot au fur et à mesure les bits réceptionnés. Ceci se fait par un simple décalage.

V.2.4 Programmation du microcontrôleur 4 :

Cette partie du programme commence par lancer la procédure de conversion analogique numérique puis par comparer la valeur recueillie avec celle de la tension désirée. Si toutefois elle est supérieure à la référence le μC 4 positionne à l'état haut la sortie vers le μC 2 indiquant que l'objet est vert et que c'est donc une bouteille.

V.2.5 Programmation du microcontrôleur 5

La programmation des balises qui se déroule dans le Pic 16f84 doit envoyer à la carte de commande la position (X, Y) et la direction θ , sous la forme d'un mot de 24 bits transmis en série. Ce mot compare les trois variables de 8 bits (X, Y, θ), qui donnent la position et l'orientation exacte du robot.

Le programme des balises est constitué de trois parties principales :

- La première partie s'occupe de la commande du moteur pas à pas et du calcul des angles « α » et « β ».
- La seconde partie utilisera les angles « α » et « β » calculés dans la première partie pour donner la position et l'orientation du robot sur le terrain (X, Y, θ).
- Enfin la dernière partie s'occupera de la transmission série du résultat calculé sous la forme d'un mot de 24 bits

La **figure 5.5** présente l'architecture du programme de commande des balises avec les différentes variables qui le gèrent.

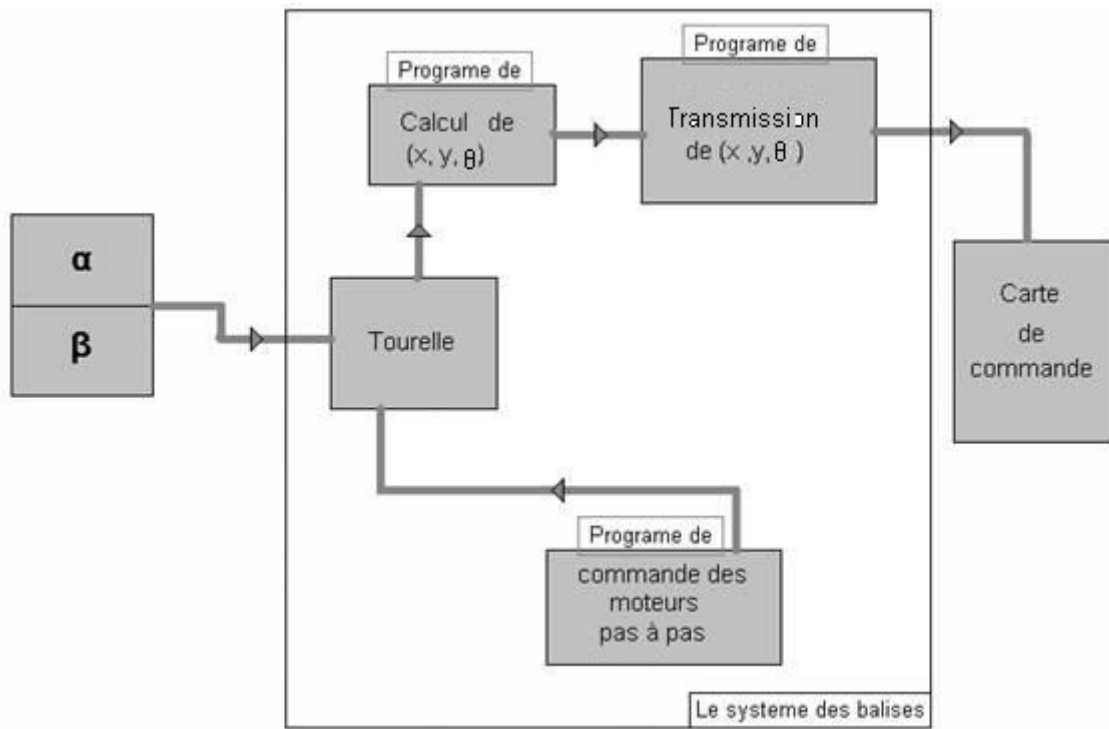


Figure 5.5 : Schéma de fonctionnement des balises

Conclusions et perspectives

Conclusion générale :

Lors de ce projet de fin d'étude nous avons réalisé un robot mobile :

- 1- Pouvant se mouvoir selon deux processus de localisation
- 2- Capable d'éviter les obstacles se présentant sur son parcours
- 3- Doté de multiples capteurs :
 - a- capteur de couleurs
 - b- barrière infrarouge
 - c- télémètre infrarouge
- 4- Pouvant prendre des objets ; les stocker ; les traiter et les déposer après tri.

Les difficultés majeures auxquelles nous avons dû faire face sont de deux natures distinctes : l'une concernant le manque de moyens mis à notre disposition et l'autre dû à l'absence d'un capital savoir à l'ENP.

Toutes les autres équipes ayant participées au concours; en plus d'être plusieurs à collaborer dans ce même projet ; avaient par exemple déjà un prototype sur lequel s'appuyer pour démarrer leur projet issu des travaux des années précédentes. Il aurait s'agit dès lors juste d'adapter l'ancien robot à la nouvelle application en changeant les capteurs et en imaginant le mécanisme approprié.

L'objectif principal de ce projet de fin d'étude est de réaliser une plateforme de démarrage pour les futurs travaux menés dans le même sens à savoir la conception de prototypes mobiles dévolus à l'accomplissement de tâches assignées par un cahier des charges.

Ainsi il ne sera plus nécessaire de refaire le module consacré à la mobilité du robot si ce n'est pour utiliser un meilleur microcontrôleur. Le système de localisation par balise aussi constitue un moyen standard de se repérer dans un environnement similaire à celui pour lequel il a été conçu .Sans oublier le capteur de couleur.

PERSPECTIVES :

La robotique mobile est un domaine où de nouveaux prototypes tantôt burlesques et tantôt étonnants ne cessent de voir le jour de minutes en minutes. Cette dynamique avec laquelle évolue cette discipline lui octroie une place de choix dans beaucoup de domaines divers et variés compte tenu des progrès accomplis. Il est maintenant possible de rencontrer des robots mobiles dans presque tous les domaines de l'engineering.

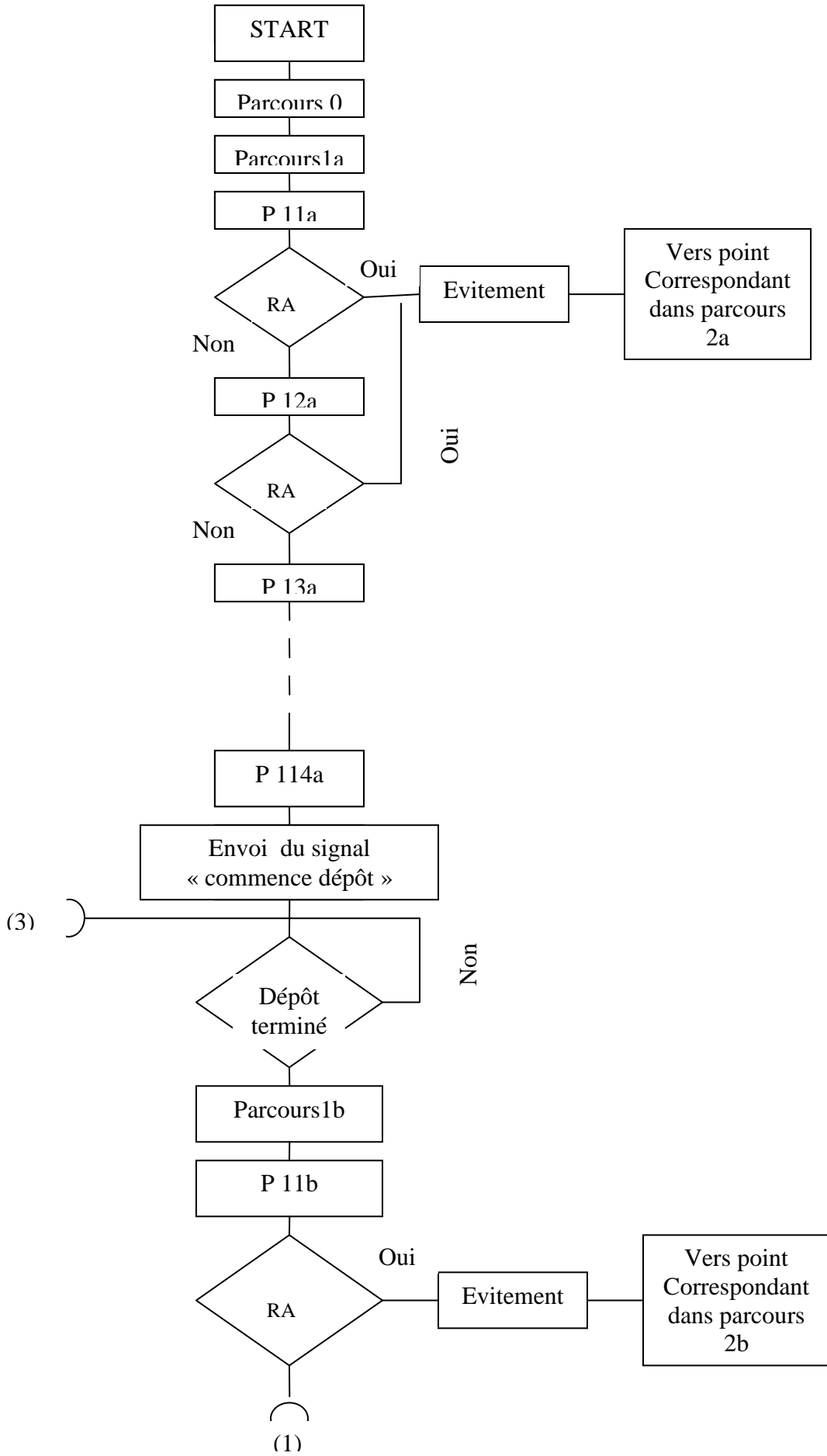
Les modules réalisés dans ce projet de fin d'étude constitue la base de tout robot mobile dès lors il est aisé d'imaginer moult applications à notre travail.

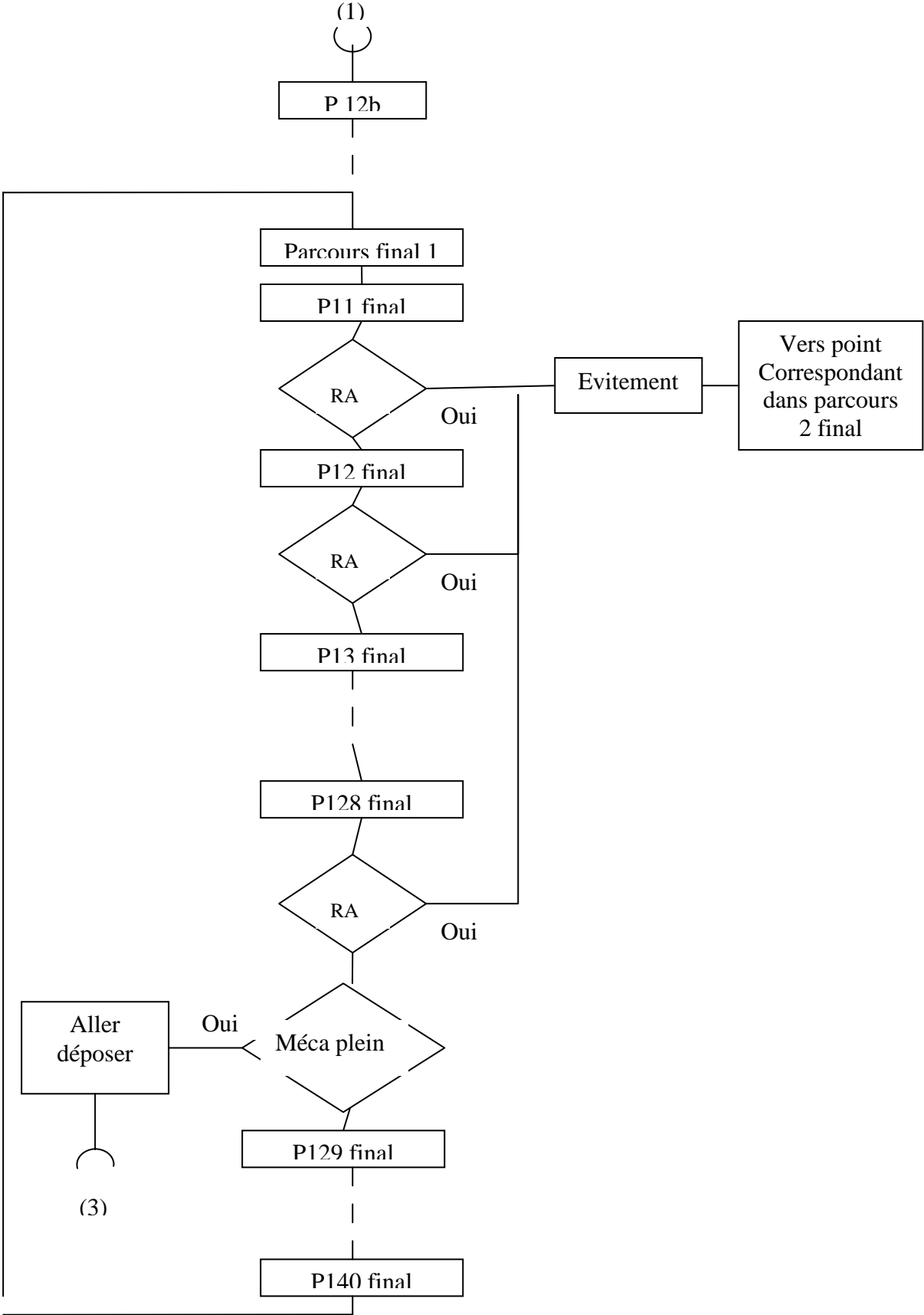
En effet le système de localisation par balise peut s'avérer être un bon outil pour des travaux menés dans le domaine de l'intelligence artificielle. Puisque la position du robot peut être connue, pourvu que ce dernier s'arrête pour se localiser, il est possible d'implémenter une trajectoire aléatoire avec une politique de réaliser un objectif à long terme.

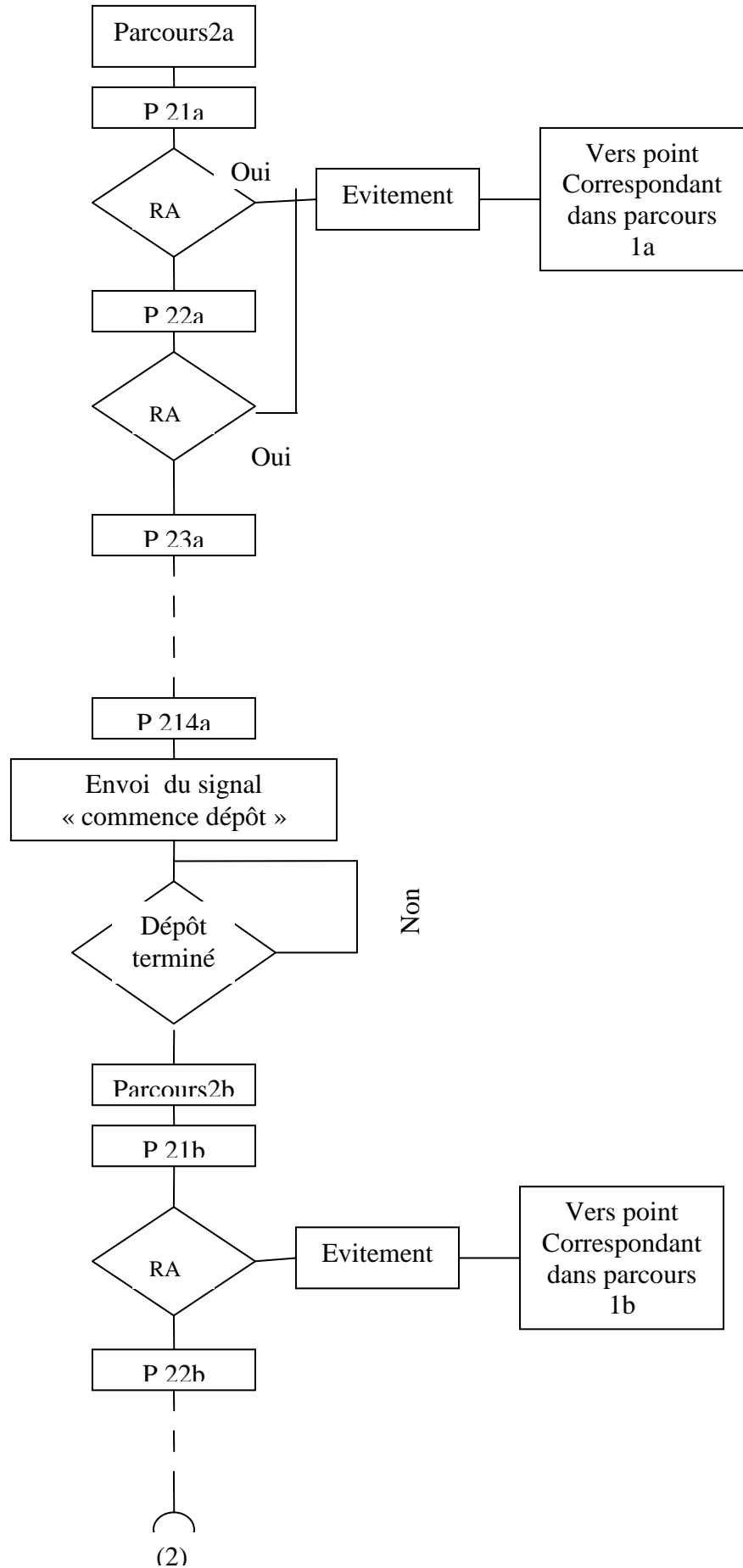
Mais l'application qui nous parait la plus pertinente ; qui n'implique pas un désossement du prototype par modules, chacun destiné à une application différente; est celle qui engagerait, au-delà d'autres participants au concours; des étudiants à utiliser d'autres moteurs et d'autres commandes plus élaborées et de les appliquer sur le Polybot. Ce dernier deviendra une sorte de banc d'essai pour les futurs travaux de recherches. C'est de cette manière que l'université de Stamford a démarrée en 1970.

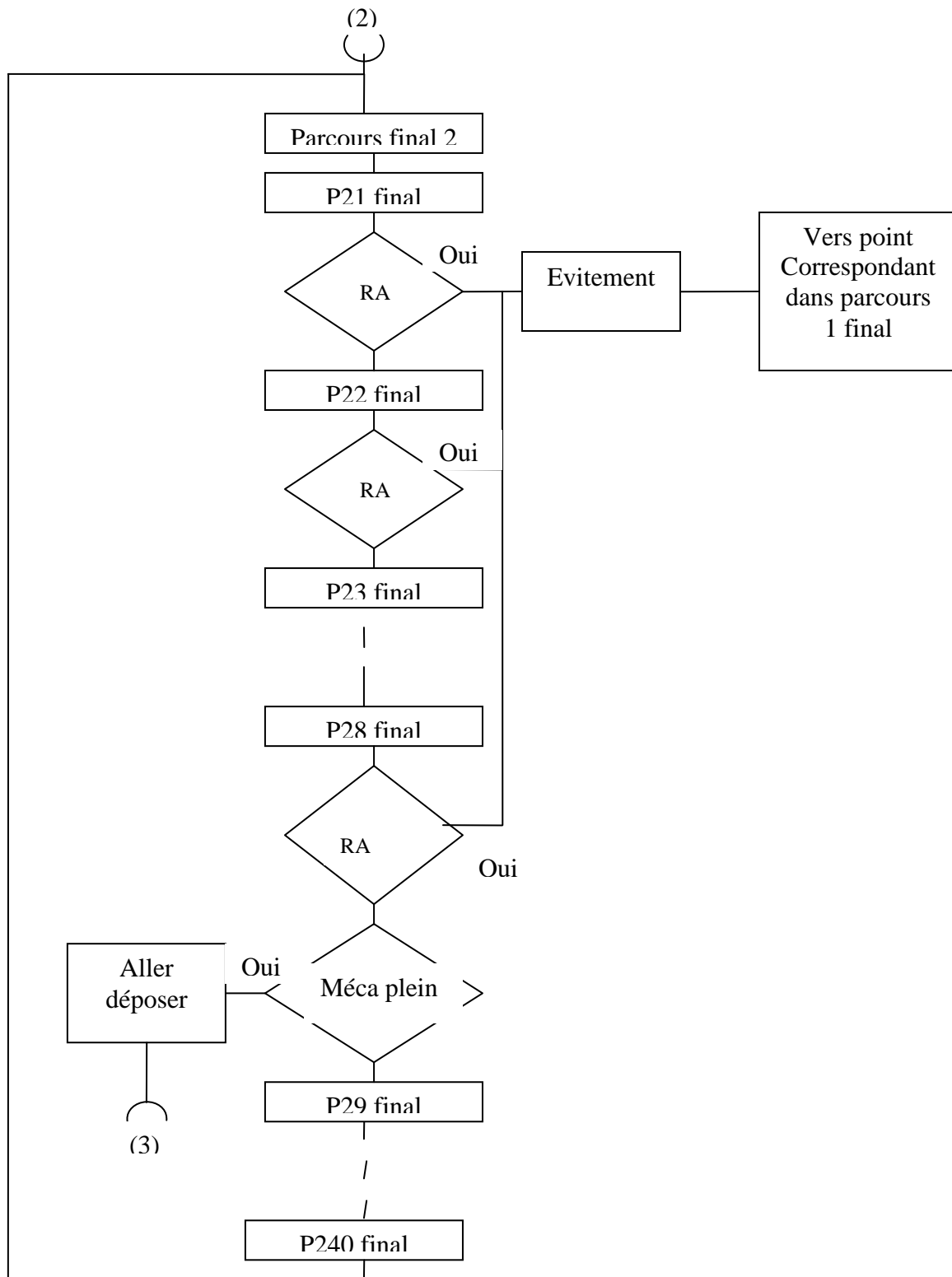
ANNEXE A :

Organigrammes



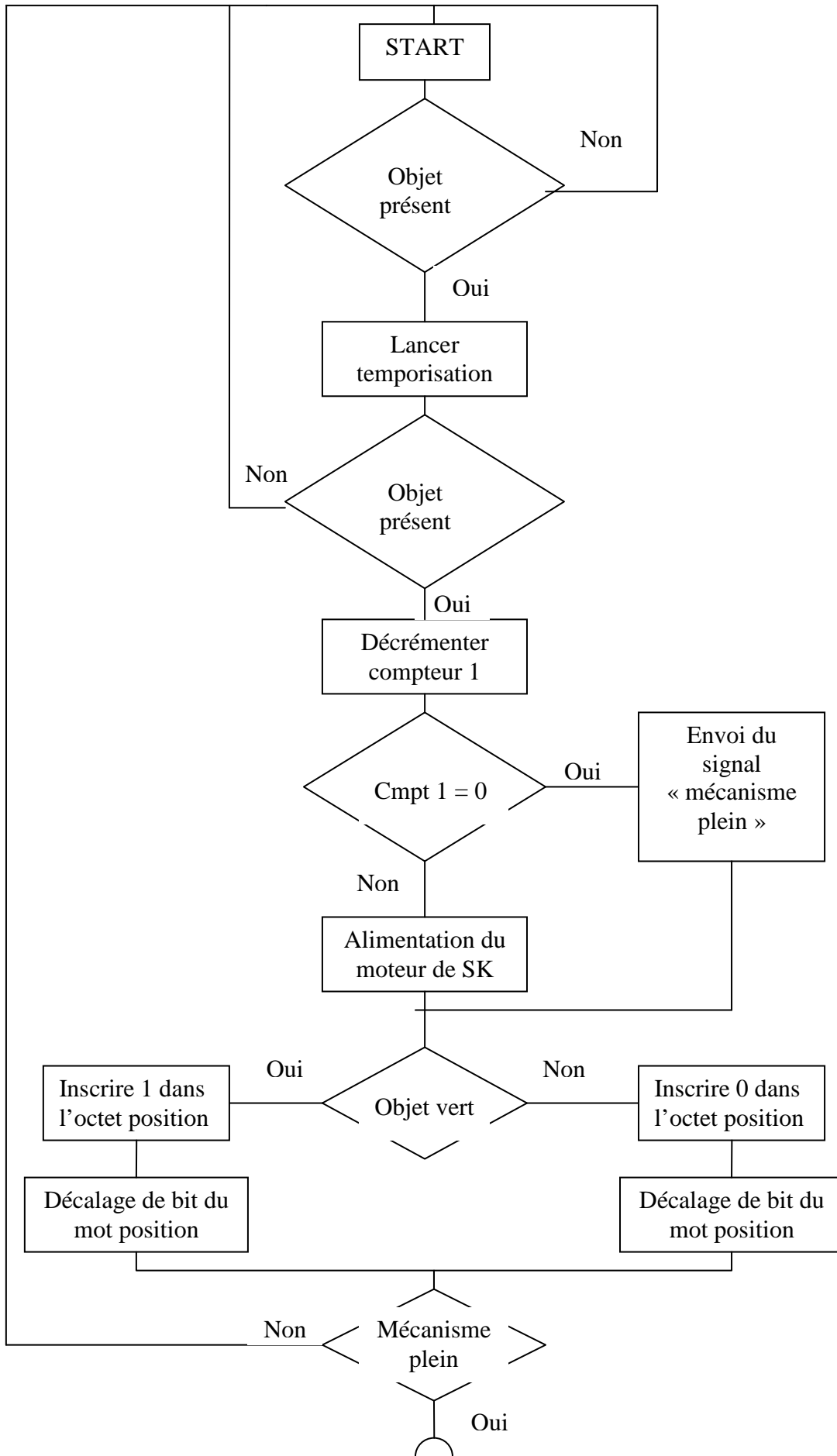


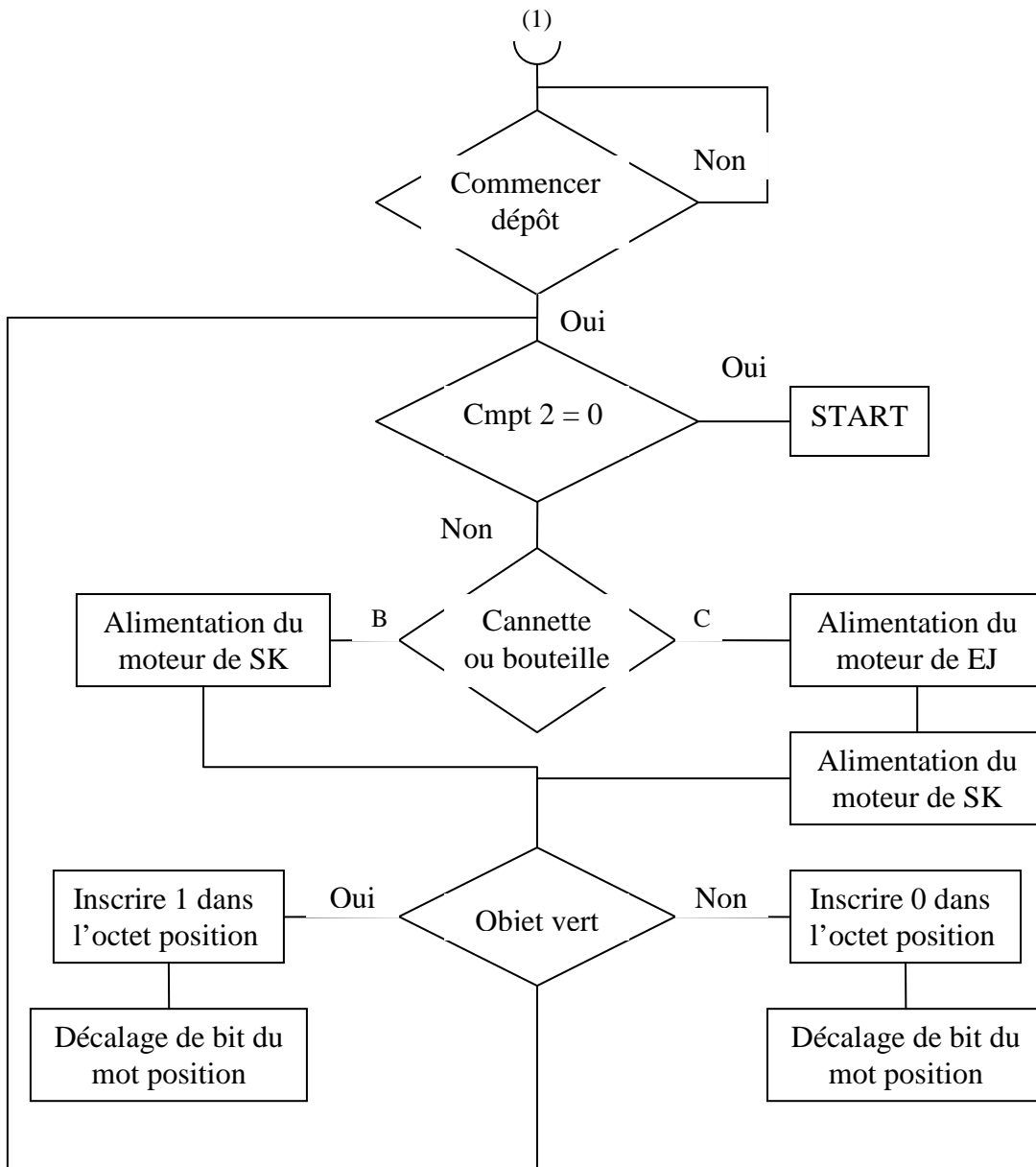




Organigramme 01

Avec **RA** : Robot adverse





Organigramme O2

Annexe B:

Trajectoires

Tableaux des trajectoires

x	y	θ (degré)	D (mm)	φ (degré)	Pas	Sens/freq.(Hz)
Parcours 0						
0	0	0	0	45	395	01/100
0	0	45	726.22	0	2497	11/100
510.83	516.18	45	0	18.65	164	01/100
510.83	516.18	63.65	651.5	0	2240	11/100
800	1100	63.65	0	153.65	1346	10/100
800	1100	270	200	0	688	11/100
800	900	270	200	0	688	11/100
800	700	270	200	0	688	11/100
800	500	270	0	90	788	01/100
Parcours 1						
800	500	0	200	0	688	11/100
1000	500	0	200	0	688	11/100
1200	500	0	200	0	688	11/100
1400	500	0	200	0	688	11/100
1600	500	0	200	0	688	11/100
1800	500	0	200	0	688	11/100
2000	500	0	400	0	1376	11/100
2400	500	0	0	90	789	01/100
2400	500	90	200	0	688	11/100
2400	700	90	200	0	688	11/100
2400	900	90	200	0	688	11/100
2400	1100	90	400	0	1376	11/100
2400	1500	90	0	90	789	01/100
2400	1500	180	100	0	344	00/100
2500	1500	180	100	0	344	11/100
2400	1500	180	0	45	395	01/100
2400	1500	225	256.66	0	881	11/100
2218.8	1318.8	225	200	0	688	11/100
2077.4	1177.4	225	196	0	674	11/100

1868	968	225	0	45	395	01/100
1868	768	270	200	0	688	11/100
1868	768	270	0	43	377	10/100
1868	768	227	180.68	0	621	11/100
1744.7	635.8	227	200	0	688	11/100
1608.3	489.5	227	200	0	688	11/100
1472	343.26	227	200	0	688	11/100
1336	197	227	200	0	688	11/100
1200	50	227	0	47	412	10/100
Parcours 1 final						
1200	50	180	0	55.17	484	10/100
1200	50	124.83	200	0	688	11/100
1085.7	214.17	124.83	200	0	688	11/100
971.5	378.34	124.83	200	0	688	11/100
857.3	542.5	124.83	200	0	688	11/100
743	706.68	124.83	200	0	688	11/100
628.8	870.8	124.83	200	0	688	11/100
514.6	1035	124.83	200	0	688	11/100
400	1200	124.83	0	145.17	1273	01/100
400	1200	270	200	0	688	11/100
400	1000	270	200	0	688	11/100
400	800	270	200	0	688	11/100
400	600	270	200	0	688	11/100
400	400	270	200	0	688	11/100
400	200	270	150	0	516	11/100
400	50	270	0	90	789	01/100
400	50	0	200	0	688	11/100
600	50	0	200	0	688	11/100
800	50	0	200	0	688	11/100
1000	50	0	200	0	688	11/100
1200	50	0	0	55.17	484	01/100
1200	50	55.17	200	0	688	11/100
1314.3	214.17	55.17	200	0	688	11/100

1428.6	378.34	55.17	200	0	688	11/100
1542.9	542.5	55.17	200	0	688	11/100
1657.2	706.68	55.17	200	0	688	11/100
1771.5	870.8	55.17	200	0	688	11/100
1885.8	1035	55.17	200	0	688	11/100
2000	1200	55.17	0	145.17	1273	10/100
2000	1200	270	200	0	688	11/100
2000	1000	270	200	0	688	11/100
2000	800	270	200	0	688	11/100
2000	600	270	200	0	688	11/100
2000	400	270	200	0	688	11/100
2000	200	270	150	0	516	11/100
2000	50	270	0	90	789	10/100
2000	50	180	200	0	688	11/100
1800	50	180	200	0	688	11/100
1600	50	180	200	0	688	11/100
1400	50	180	200	0	688	11/100
Parcours 2						
800	100	0	200	0	688	11/100
1000	100	0	200	0	688	11/100
1200	100	0	200	0	688	11/100
1400	100	0	200	0	688	11/100
1600	100	0	200	0	688	11/100
1800	100	0	0	90	789	01/100
1800	100	90	200	0	688	11/100
1800	300	90	200	0	688	11/100
1800	500	90	200	0	688	11/100
1800	700	90	200	0	688	11/100
1800	900	90	200	0	688	11/100
1800	1100	90	400	0	1376	11/100
1800	1500	90	0	90	789	01/100
1800	1500	180	400	0	1376	00/100
2500	1500	180	100	0	344	11/100

2400	1500	180	0	90	789	01/100
2400	1500	270	200	0	688	11/100
2400	1300	270	0	45	395	10/100
2400	1300	225	256.66	0	881	11/100
2218.8	1118.3	225	200	0	688	11/100
2077.4	977.4	225	196	0	674	11/100
1868	768	225	0	135	1185	10/100
1868	768	90	200	0	688	11/100
1868	968	90	42.25	0	145	11/100
1868	1010.25	90	0	145.17	1094	01/100
1868	1010.25	235.17	30	0	688	11/100
Parcours 2 final						
C'est le même que le parcours 1 final sauf que c'est dans l'autre sens						

Référence Bibliographique

- [1] “Comité d’organisation international EUROBOT” <http://www.eurobot.org> Juin 2007.

- [2] Guy Campion, Georges Bastin, and Brigitte D’Andréa-Novel “*Structural Properties and Classification of Kinematic and Dynamic Models of Wheeled Mobile Robots*” IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol. 12 NO. 1, February 1996

- [3] “Roulement mécanique” <http://fr.wikipedia.org> Encyclopédie en ligne Juin 2007.

- [4] Berkouk, “*Cours GRAFCET et réseau de pétri*” Ecole Nationale Polytechnique 2007

- [5] Correvon (M.), “*Systèmes électromécaniques*” Institut d’Automatisation Industrielle, Haute Ecole Spécialisée de Suisse Occidentale 2004

- [6] Claude Divoux, “*Cours sur les moteurs pas à pas*” <http://etronics.free.fr>, TS 1997

- [7] LACROUX (G.). “*Les actionneurs électriques pour la robotique*”. Technique et Documentation Lavoisier (1985)

- [8] Philippe (B.) “*Dimensionnement des moteurs*”
<http://fribotte.free.fr> Juin 2007
- [9] Marie-Renée Josserand, “*Commande de moteurs pas à pas*”
<http://nicolas.marchildon.net/electro/index.html> Juin 2007
- [10] Dual Full Bridge Driver, “*L298 Data Sheet*”
<http://www.st.com/stonline/products/literature/ds/1773.pdf> Juin 2007
- [11] PIC Microcontrollers Assembly tool “MPLAB 7.51”
<http://www.microchip.com/>
- [12] Claude Bigonoff “*La programmation des Pics*” Volume 1 Révision 21B
<http://www.abcelectronique.com/bigonoff/>
- [13] Claude Bigonoff “*La programmation des Pics*” Volume 2 Révision 13B
<http://www.abcelectronique.com/bigonoff/>
- [14] Microcontrollers PIC “*PIC 16f87x Data Sheet*”
<http://www.microchip.com/>
- [15] Microcontrollers PIC “*PIC 16f84 Data Sheet*”
<http://www.microchip.com/>
- [16] How to build a robot. “*Color sensor*” Society of robots
<http://www.societyofrobots.com/>

- [17] Sharp Télémètre IR “*GP2D02 Data Sheet*”
http://sharp-world.com/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2d02_e.pdf
- [18] B.T. Kelly “*JDM Programmer guide*”
http://users.tpg.com.au/btkelly/jdm_b.htm Juin 2007