

PROJETS INDUSTRIELS - ELEC4

Année scolaire 2009-2010

"COUPE ROBOTIQUE EUROBOT - FEED THE WORLD"

Etudiants : Morand Julien - Marot François - Jeannin Denis

Chan Ju Chi Cédric – Behin Rebecca – Fonseca Alexandre

Thaon Julien

Encadrants : Pascal Masson

EricALLEmand

SOMMAIRE

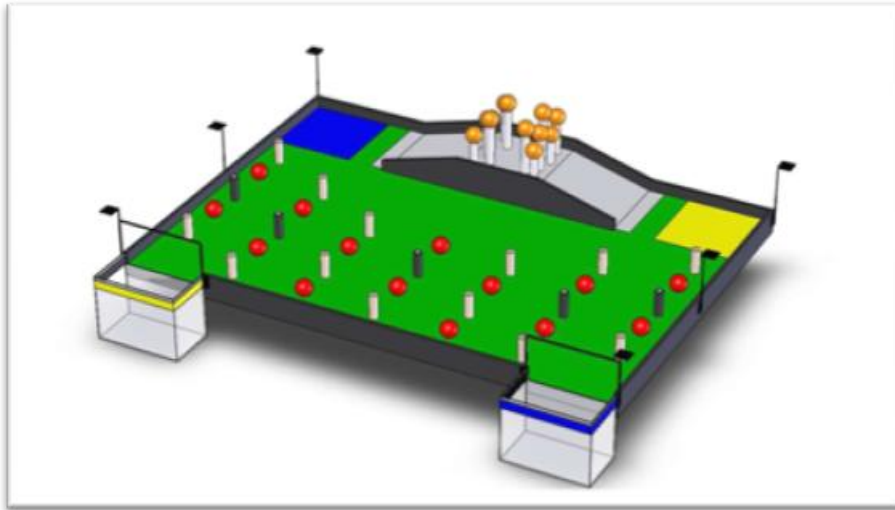
Introduction.....	6
I. La Stratégie	8
II. La structure	9
II.1. Introduction :	9
II.2. Cahier des charges :	9
II.3. Configuration du robot :	10
II.4. Construction/matériaux :	10
II.5. Estimation de la masse :	11
III. Transmission mécanique	12
III.1. Introduction:	12
III.2. Cahier des charges:	12
III.3. Solutions envisageables :	12
III.4. Solution choisie :	18
III.5. Résumé :	19
IV. Module de commande des moteurs	20
V.1. Description:	20
V.2. Cahier des charges:	20
V.3. Solution:	20
V.4. La carte de commande :	21
V. Module d'alimentation	22
V.1. Introduction	22
V.2. Cahier des charges :	22
V.3. Les batteries	22
V.4. Cycles de charge et décharge	23
V.7. La carte Alimentation	29
VI. Electronique de commande	32
VI.1. Introduction	32
VI.2. Cahier des charges	33

VI.3.	Sélection du matériel	40
VI.4.	Choix & justification	42
VI.5.	Mise en Œuvre.....	43
VII.	Repérage sur le plan de jeu et de l’adversaire.....	45
VII.1.	Introduction	45
VII.2.	Cahier des charges	45
VII.3.	Solutions pour repérage sur plan de jeu	46
VII.4.	Solutions pour repérage de l’adversaire	50
VIII.	Ramassage et Stockage des tomates	57
VIII.1.	Cahier des charges	57
VIII.2.	Solutions envisageables	59
IX.	Ramassage et stockage des oranges.....	68
IX.1.	Introduction	68
IX.1.	Cahier des charges:.....	68
IX.2.	Les différentes techniques envisagées	70
X.	Ramassage et stockage des maïs	76
X.1.	Introduction.....	76
X.2.	Les pinces	78
X.3.	Identifier les maïs	79
X.4.	Ramasser les maïs	83
	Conclusion	91
	Bibliographie	92

Introduction

Dans le cadre de notre projet de 4^{ème} année, nous avons décidé de reprendre la Sophia Team qui est une association située au sein de l'école Polytech'Nice Sophia. Le but étant de participer à la coupe de France de robotique, Eurobot, qui se déroulera du 12 au 15 mai 2010 à la Ferté Bernard (72). Planète Sciences organise la coupe de France de robotique depuis 1994. Suite à son succès et à l'intérêt croissant d'équipes de d'autres pays, Planète Sciences a lancé il y a 11 ans le concours international Eurobot. Ce dernier regroupe plus de 160 robots et 4000 spectateurs. Ce projet original, constructif, ludique et compétitif va nous permettre de découvrir tous les aspects du domaine de la robotique, en effet c'est aussi un challenge technique et scientifique. Chaque année, un thème différent est proposé ; pour 2010 il est « Feed The World » qui signifie nourrir le monde. Ainsi nous allons devoir récolter des tomates, des oranges et des épis de maïs en 90s.

Lors de la coupe, chaque équipe, qui sera homologuée, disputera des matches 1 contre 1. La partie se déroulera sur une table de jeu où les éléments sont disposés comme ci-dessous. Les balles en rouge représentent les tomates, celles en jaune les oranges et les cylindres sont les épis de maïs, dans ces derniers il y en a des fixes (en noir) et des mobiles (en blanc). Chaque joueur est associé à une couleur, le carré est l'emplacement de départ et les objets sont à mettre dans les bacs.



Le robot devra être entièrement autonome. Le score sera calculé automatiquement par pesée de poids.

Nous avons découpé le projet en blocs fonctionnels qui interagissent entre eux de la façon décrite sur la figure ci-dessous.

Schéma bloc des différents modules du Robot

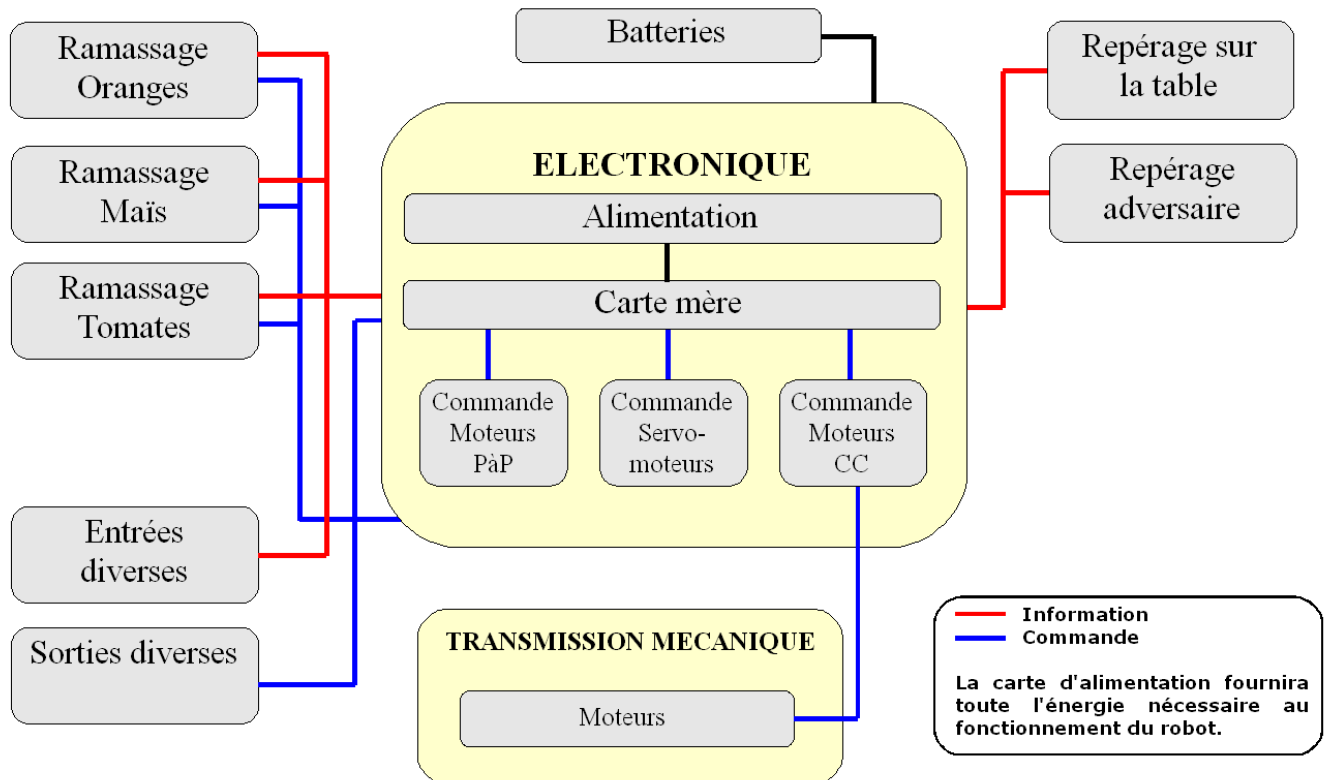


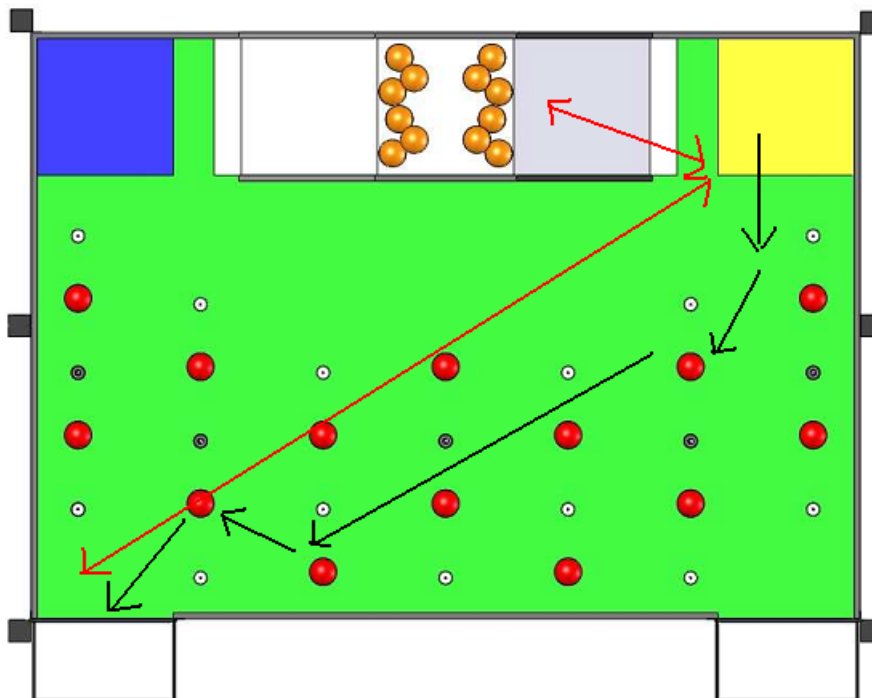
Schéma fonctionnel du robot.

Nous allons développer, pour chacun de ces modules, les contraintes relatives à ce module, les différentes solutions envisageables ainsi que le choix que nous avons fait pour notre robot.

I. La Stratégie

Ce paragraphe va servir à évaluer la capacité de stockage du robot.

Une photo de la table :



Les flèches noires représentent le premier trajet vers le bac de déchargement. Comme nous le voyons sur le schéma nous pouvons ramasser 5 tomates et entre 2 et 4 maïs selon la répartition des maïs noirs sur la table. Après ça, nous déchargeons puis nous retournons vers la zone de départ par le chemin le plus court afin d'aller chercher les oranges (flèches rouges). Sur le trajet, il y a un maximum 2 tomates et 2 maïs à ramasser. Nous prendrons 3 ou 4 oranges puis nous retournerons au bac le plus directement possible. Nous avons choisi de prendre les maïs et les tomates en premier car le table de jeu sera dégagée.

II. La structure

II.1. Introduction :

Le but de cette partie est de décrire le physique du robot. Nous allons définir la taille, les volumes attribués à chaque module ainsi que le type de structure et les matériaux utilisés.

II.2. Cahier des charges :

- Contraintes de taille :
 - Périmètre maximum replié : 1200mm
 - Périmètre maximum déployé : 1400mm

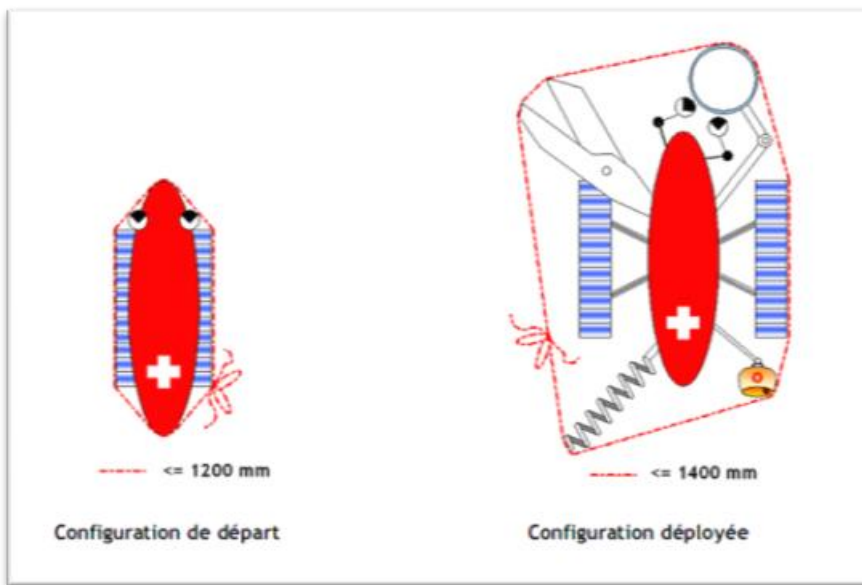


Figure II.1 : Différentes configuration du robot

- Les parties déployables ne peuvent être déployées qu'après le début du match.
- Hauteur maximum : 350mm
- Support de balise adverse :
 - Surface de 80x80mm velcro face crochets.
 - Situé à une hauteur de 430mm par rapport à la table.
 - Placé le plus au centre possible du robot.
- Volume interdit : Le volume situé entre la hauteur maximum du robot (350mm) et le support de balise (430mm) doit être laissé vide pendant toute la durée du match. A l'exception du volume situé dans la projection du support de balise.

II.3. Configuration du robot :

Nous avons fixé la taille du robot : il sera de forme cubique 280x280x350 mm.

Nous avons alloué des volumes pour chaque élément du robot de la façon suivante :

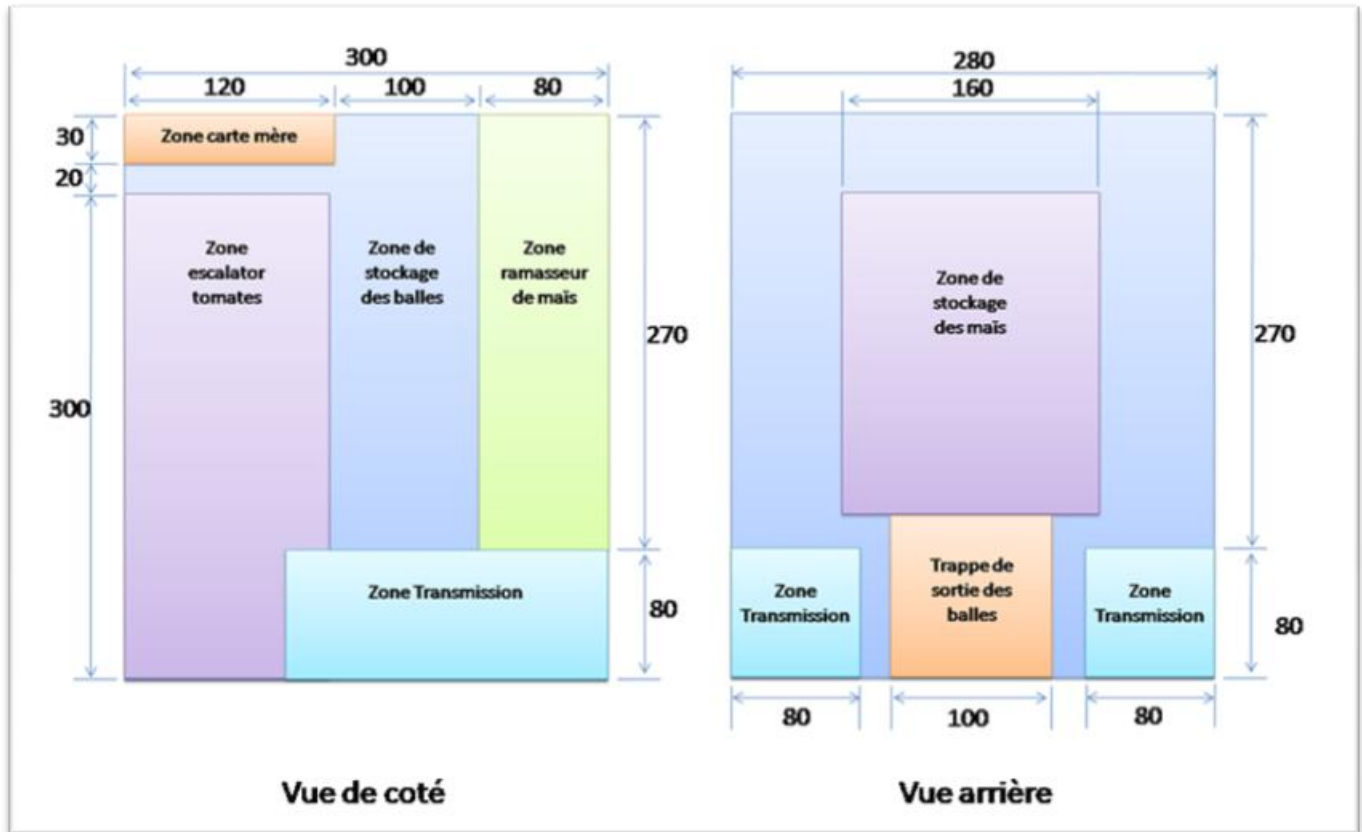


Figure II.2 : Répartition des volumes pour les différents modules

II.4. Construction/matériaux :

Pour obtenir un robot maniable, il nous faut diminuer au maximum l'inertie du robot et donc sa masse.

Il existe deux principaux types de structures :

- Structure avec **châssis** : Le robot est construit autour d'un châssis central puis carrossé.
- Structure **autoportante** : Le robot est construit de manière à ce que la carrosserie fasse la rigidité du robot. Il s'agit de la structure utilisée actuellement en automobile.

Le gros avantage de la structure autoportante est de pouvoir faire une structure beaucoup plus rigide à masse égale. Par contre elle doit être conçue dans tous les plus petits détails à l'avance car la modification de forme est très compliquée après coup.

Nous choisirons donc la structure avec châssis de façon à ce que nous ne soyons pas obligé de faire de prototype : cela a été une source de temps perdu l'année dernière.

Le châssis sera constitué d'une plaque en aluminium de 3mm d'épaisseur placée horizontalement. Les moteurs seront fixés directement sur cette plaque, ainsi que les différents modules décrits dans ce rapport.

II.5. Estimation de la masse :

Module	Elément	Masse estimée
Structure :	Châssis :	1500g
	Divers :	1000g
Transmission :	Moteurs :	1440g
	Roues :	240g
	Supports + renvoi d'angle :	800g
Ramassage oranges :	4 pompes :	200g
	Divers :	500g
Ramassage maïs :	Moteur :	500g
	Bras :	800g
	Divers :	1000g
Ramassage tomates :	Moteur :	500g
	Divers :	1000g
Electronique :	Carte mère :	200g
	Carte alimentation :	150g
	Carte commande moteurs :	300g
	Autres cartes :	100g
Batteries :	Pack li-fe :	280g
Divers :	Carrosserie, ...	2000g
	Total:	12510g

III. Transmission mécanique

III.1. Introduction:

Le but de cette partie est de décrire les éléments mécaniques permettant les déplacements du robot sur la table de jeu

- i) La transmission mécanique du robot est un élément fondamental car c'est ce qui permet les déplacements du robot et détermine sa maniabilité, sa rapidité, sa précision. Elle doit donc être fiable et robuste pour éviter les désagréments lors de la coupe.

III.2. Cahier des charges:

- Vitesse rapide: on estime que le robot doit pouvoir traverser la table (3m x 2,1m) en diagonale (3,7m) en 7s. Ce qui fait une vitesse de 0,5m/s.
- Puissance pour monter le plan incliné (15,64°).
- Possibilité d'effectuer des changements de direction rapidement.
- Possibilité d'entraîner une masse d'environ 15kg.
- Freinage mécanique ou électronique (pour pouvoir rester immobile sur le plan incliné).
- Les moteurs à combustion ou traction animale sont interdits.

III.3. Solutions envisageables :

Transmission par chenilles

Il s'agit du système utilisé sur les chars d'assaut et de nombreux engins de chantier car cela permet d'avoir un engin maniable, stable et utilisable sur tout terrain.

Un des principaux avantages de l'utilisation de chenilles est que la surface de contact avec le sol est très grande. Ainsi il n'y a aucun risque de patinage et le système n'est donc limité que par la puissance des moteurs. Ceci permet aussi d'avoir un robot très stable.



Figure III.1: Base roulante à chenilles vendue par électronique diffusion.

Mais cette grande surface de contact présente un inconvénient majeur dans le cas où on effectue le positionnement du robot par enregistrement des déplacements effectués. Pour effectuer un changement de direction on fait tourner une chenille dans un sens et l'autre dans l'autre sens. La surface de contact au sol étant grande, on ne peut pas définir avec précision autour de quel point s'effectuera la rotation.

De plus, la surface de contact au sol étant élevée, il se produit beaucoup de frottements avec le sol lors des changements de direction.

Un autre inconvénient majeur de ce système pour nous est le volume occupé par les chenilles car elles doivent faire toute la longueur du robot.

Les chenilles sont régulièrement utilisées à la coupe et en robotique (on trouve facilement des chenilles sur les catalogues spécialisés en robotique comme « électronique diffusion »), mais nous ne disposons pas de retour d'expérience d'équipes ayant utilisé ce système.

Il existe une alternative qui supprime l'inconvénient du frottement sur le sol lors des virages : lors des virages les chenilles se transforment en roues grâce à un ingénieux système de chenilles élastiques et de bras qui se déploient pour augmenter la surface de contact au sol.

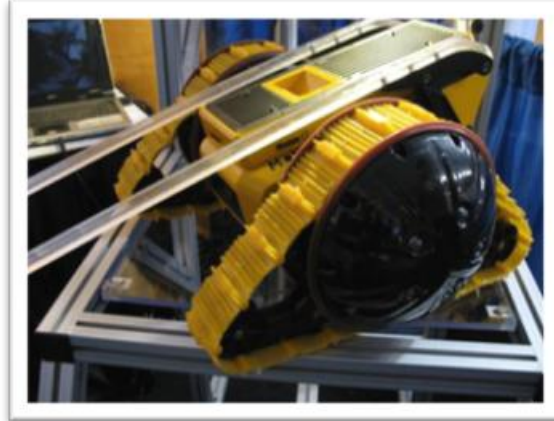


Figure III.2: Robot Galileo chenilles déployées.

Une démonstration vidéo est disponible à l'adresse suivante : www.botjunkie.com/2007/11/12/robodevelopment-galileo-hybrid-tracked-robot/

Ce système est très intéressant, mais nous ne pourrions l'utiliser car il est volumineux mais surtout car la mécanique de déploiement des chenilles est très compliquée et serait donc longue à implémenter.

Transmission par cousin d'air (aéroglesseur)

Il s'agit de créer un coussin d'air entre le robot et la table à l'aide d'une soufflerie pour réduire les frottements. Les déplacements se font ensuite à l'aide de deux hélices placées sur le dessus du robot.



Figure III.3: Aéroglesseur militaire.

Outre l'originalité d'un tel système, on apprécie aussi la fluidité de ses déplacements. Mais ce système présente beaucoup de gros inconvénients :

- Comme il n'est pas physiquement relié au sol, il n'est pas possible d'effectuer un positionnement par odométrie.
- Il faut beaucoup d'énergie pour créer le coussin d'air sous le robot et il faut encore de l'énergie pour effectuer les déplacements.
- Ce système s'avère très volumineux car la surface du coussin d'air doit être maximale. Ceci est très gênant pour le ramassage d'objets sur la table.
- Ce système est difficile à construire car il faut créer une jupe qui soit flexible pour qu'elle reste étanche lors de la montée du plan incliné.

Le concept de l'aéroglesseur a été utilisé par l'équipe Tratech en 2008 pour la coupe de robotique (project.tratech.fr/index.php?option=com_content&task=view&id=24&Itemid=27&limit=1&limitstart=0&lang=fr).

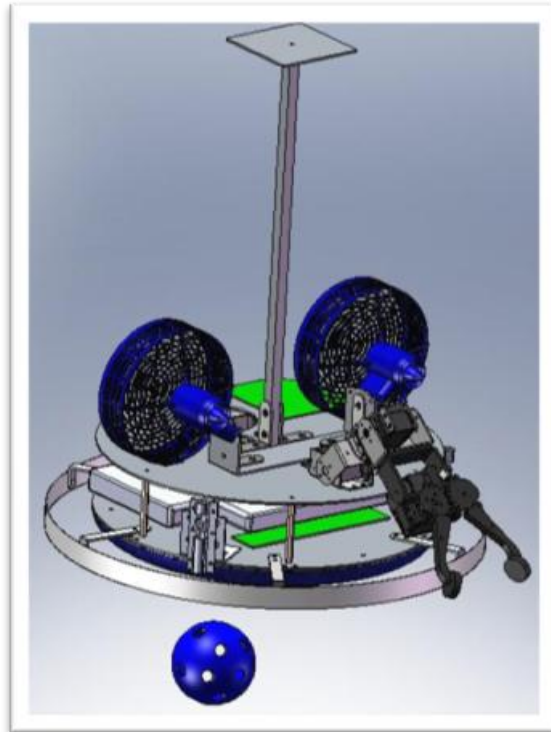


Figure III.4: Robot aéroglesseur Tratech 2008

Transmission par roues :

L'utilisation des roues est le moyen le plus utilisé pour les déplacements sur terre. En effet, il présente l'avantage d'être plus économique aussi bien du côté fabrication que du côté consommation en énergie lors du fonctionnement.

Il y a de nombreuses façons de placer les roues.

Disposition des roues :

- **4 roues: 2 roues motrices et 2 roues directrices.** C'est le système utilisé sur toutes les voitures car il permet d'avoir une très bonne tenue de route.
 - Avantage:
 - Il permet de n'utiliser qu'un seul moteur.
 - Il est possible de faire des lignes parfaitement droites facilement.
 - Inconvénients:
 - Ce système rendrait le robot très peu maniable dans des espaces restreints (grand rayon de braquage).
 - Ce système est volumineux.
 - Il faut insérer un différentiel sur les roues motrices pour permettre d'effectuer des courbes sans patinage.

Ce système n'est pas du tout adapté pour un robot se déplaçant sur une surface restreinte.

- **2 roues motorisées avec une roue folle:**

- **2 moteurs commandés indépendamment:** il s'agit de la technique la plus utilisée par les participants habituels à la coupe de robotique.
 - Avantages:
 - Le robot peut tourner sur place en faisant tourner les deux roues motrices dans le sens opposé.
 - Ce système est mécaniquement simple à mettre en œuvre.
 - Inconvénients:
 - Ce système nécessite l'installation de deux moteurs.
 - Il faut effectuer l'asservissement de deux moteurs.
- **1 moteur relié à un différentiel et frein indépendant sur chaque roue.**
 - Ce système a l'avantage de n'utiliser qu'un seul moteur.
 - Inconvénients:
 - Ce système est compliqué à mettre en œuvre car il faut installer un différentiel et un frein sur chacune des deux roues.
 - Ce système ne permet pas de faire tourner les roues en sens inverse pour effectuer une rotation sur place.

De ces trois systèmes, seul le système à deux roues motrices grâce à deux moteurs indépendants est envisageable pour notre robot.

- **3 roues multi-directionnelles avec trois moteurs indépendants.**

Ce principe consiste à placer trois roues multidirectionnelles avec un angle entre elles de 120° , chacune entraînée par un moteur indépendant. On peut donc, par ce moyen, effectuer des déplacements dans toutes les directions.



Figure III.5: Robot Rovio à roues multidirectionnelles.

Ce principe est utilisé sur des robots « grand public » vendus en France (www.robot-espion.com/content/6-videos-rovio_wowwee).

- Avantages :
 - Ce système permet d'effectuer des déplacements précis.
 - Ce système permet d'effectuer des rotations très précises autour du centre du robot : il suffit de faire tourner les trois roues en même temps et à la même vitesse.
- Inconvénients:
 - Ce système nécessite trois moteurs.

- L'asservissement est très compliqué car, comme les petits rouleaux sont libres, il n'est pas possible d'utiliser l'odométrie pour contrôler les déplacements. Il faut donc mesurer les déplacements à l'aide d'un système sans contact.

Résumé :

<i>Architecture</i>	<i>Avantages :</i>	<i>Inconvénients :</i>
Chenilles :	Bonne adhérence Stabilité du robot Adapté pour monter le plan incliné	Odométrie impossible Frottements Volume
Coussin d'air :	Déplacements fluides Originalité	Positionnement difficile Energie nécessaire Difficultés de réalisation Volume
Roues (2 roues indépendantes) :	Maniabilité Simplicité	Deux moteurs Deux asservissements
Roues multidirectionnelles :	Précis Original	Trois moteurs Asservissement compliqué Volume

Les roues:

La taille des roues est à choisir en fonction de la vitesse de rotation du moteur et de la vitesse désirée pour le robot, tout en vérifiant que le couple fourni ainsi est suffisant pour faire avancer le robot.

Si on utilise un positionnement par odomètres, il est nécessaire que le robot ne patine pas. Il faut donc des roues avec une bonne adhérence.

Les roues de roller :

Les roues de roller ont l'avantage d'avoir une bonne adhérence, de ne pas être molles, d'être facilement trouvable et pas chères.

Les roues de roller étant prévues pour être montées sur roulements, il est nécessaire de faire une pièce de tournage en aluminium pour pouvoir fixer la roue sur l'axe du réducteur.

Chez Décathlon, il existe des roues de roller en deux différents diamètres : 80mm et 36mm aux prix respectifs de 10€ et 15€.

Les roues en mousse :

Les roues utilisées par notre équipe l'année dernière étaient des roues en mousse. Ces roues ont une bonne adhérence mais s'écrasent un peu sous le poids du robot.

Ces roues de 73x38 mm sont disponibles chez Sélectronic au prix de 31,6€ la paire.

La roue folle:

Elle doit être de diamètre assez grand pour pouvoir franchir l'angle entre la table et le plan incliné. Pour avoir un système compact, il est avantageux d'utiliser une bille porteuse de grand diamètre. La bille porteuse encastrable de 19mm (code 687-584 chez Radiospares) conviendra parfaitement.



Figure III.6: bille porteuse.

Les Moteurs :

Dimensionnement :

Le but de ce paragraphe est de mettre en place les équations littérales permettant le calcul du couple et de la vitesse de rotation nécessaire.

Calcul du couple nécessaire :

Considérons le robot sur le plan incliné :

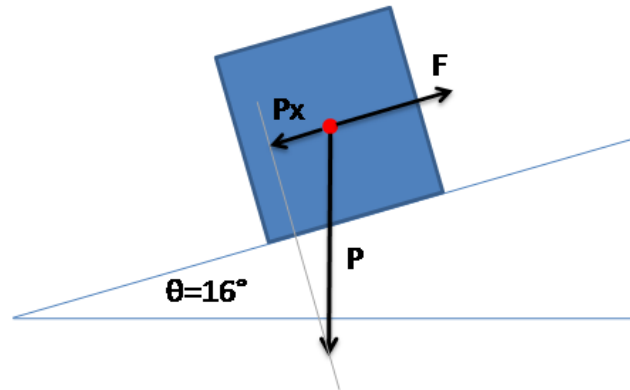


Figure III.7: Bilan des forces.

Pour que le robot reste immobile sur le plan incliné, il est nécessaire d'exercer une force F de même valeur que P_x , projection du poids P sur l'axe parallèle au plan incliné.

Or :

$$P_x = m \cdot g \cdot \sin(\theta)$$

Où m est la masse du robot et g l'accélération de la pesanteur.

Il faut donc que notre moteur soit capable de fournir une force nominale minimale :

$$F = P_x = m \cdot g \cdot \sin(\theta)$$

D'où l'expression du couple nominal nécessaire au niveau des roues :

$$C_n = F \cdot \frac{D}{2} = \frac{D}{2} \cdot m \cdot g \cdot \sin(\theta)$$

Où D est le diamètre de la roue (ou poulie d'entraînement des chenilles).

Si on utilise deux moteurs, le couple sera également réparti sur les deux moteurs, d'où :

$$C_m = \frac{1}{2} \cdot F \cdot \frac{D}{2} = \frac{1}{4} \cdot D \cdot m \cdot g \cdot \sin(\theta)$$

Calcul de la vitesse de rotation nécessaire :

La vitesse de rotation des roues est donnée par la formule suivante :

$$\omega = \frac{v}{\pi \cdot D}$$

Où v est la vitesse maximale voulue du robot et D le diamètre des roues.

La masse du robot est estimée à $m=15\text{kg}$ et la vitesse à $v=30\text{m/mn}$ (50cm/s), donc :

Diamètre des roues :	$D=63\text{mm}$	$D=80\text{mm}$
Couple :	0,6Nm	0,8Nm
Vitesse de rotation :	152tr/mn	120tr/mn

Les différents types de moteur(s):

- **Moteur à courant continu:**

- Avantages:
 - Le couple au démarrage d'un moteur à courant continu peut atteindre six fois la valeur du couple nominal.
 - Ce sont les moteurs les plus courants sur le marché et donc les moins chers.
- Inconvénients:
 - Ils ont un moins bon rendement que les moteurs brushless.

- **Moteur brushless (sans balais):**

Contrairement aux moteurs à courant continu, les moteurs brushless ont les bobines situées sur le stator et les aimants sont sur le rotor. Ceci pose le problème de l'alimentation des bobines : il faut alimenter à tour de rôle les bobines pour faire tourner le moteur.

- Avantages:
 - Ces moteurs ont un très bon rendement.
 - Ces moteurs sont plus légers que les moteurs à courant continu.
- Inconvénients:
 - La commande de tels moteurs est difficile.
 - Ce sont des moteurs encore relativement chers.

- **Moteur pas à pas :**

Le principal avantage à l'utilisation d'un moteur pas à pas est que l'asservissement et le positionnement d'un robot équipé d'un tel système sont simples car il n'y a pas besoin d'effectuer une boucle de contre-réaction car chaque impulsion donnée sur la commande correspond à un déplacement très précis.

Le principal inconvénient est que ces moteurs sont moins puissants que les moteurs à courant continu. De plus le couple au démarrage est faible.

III.4. Solution choisie :

Pour ce qui est de l'architecture, nous avons choisi d'implémenter un robot à deux roues motrices indépendantes.

Pour ce qui est des moteurs, notre choix se porte plutôt sur des moteurs à courant continu.

Pour atteindre les vitesses de rotation calculées, il est nécessaire d'utiliser des motoréducteurs.

Nous disposons de motoréducteurs Bühler (provenant de chez mdp) tournant à 250tr/mn et développant un couple de 1Nm. Nous n'utiliserons pas ces moteurs car ils sont beaucoup trop volumineux.

Nous utiliserons plutôt des moteurs dunkermotoren 12v réduits 25 fois par un réducteur planétaire. Ces motoréducteurs développent un couple nominal de 0,99Nm pour une vitesse en charge de 152tr/mn. Ce moteur a l'avantage d'être puissant (30W, 0,99Nm) tout en étant petit (diamètre 42mm, longueur 146mm).

Ces moteurs étant trop long pour pouvoir respecter notre contrainte de largeur (28cm) nous allons utiliser des renvois d'angle pour pouvoir mettre les moteurs à plat, au fond du robot, dans le sens de la longueur.

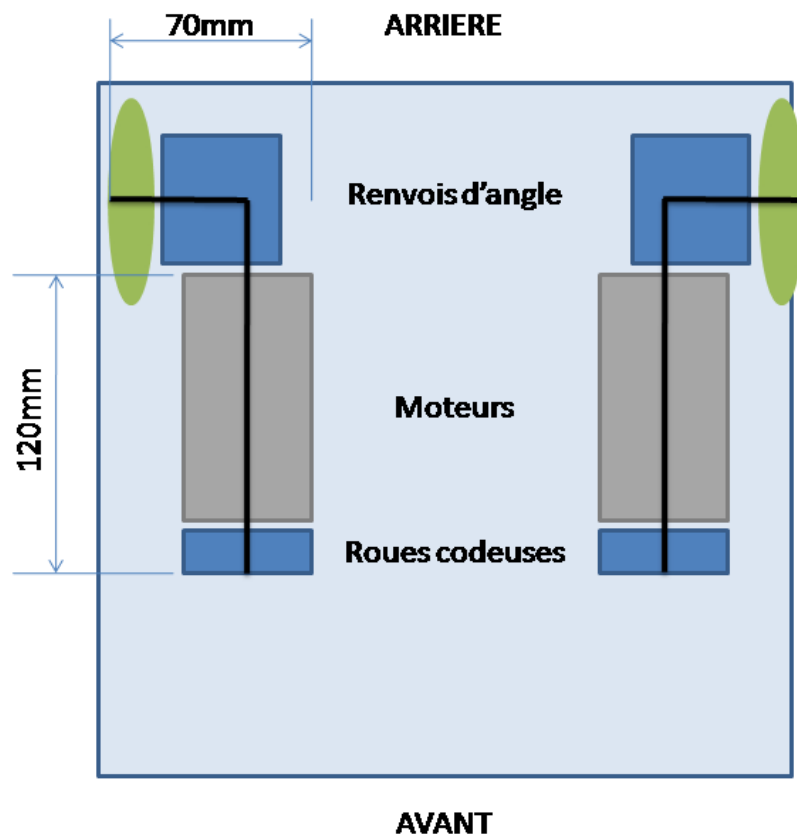


Figure III.8: Schéma général de la transmission.

III.5. Résumé :

Architecture :	Deux roues motrices indépendantes.	
Roues :	Description :	2 Type roller
	Fournisseur :	Décathlon
	Prix :	2*15€
Roue folle :	Description :	2 Billes porteuses
	Fournisseur :	Radiospares
	Code commande :	687-584
	Prix :	2*4,06€
Moteurs :	Description :	Courant continu
	Fournisseur :	mdp
	Code commande :	Dunkermotoren 12v/0025
	Prix :	284€
Roues codeuses :	Description :	500 imp/tr
	Fournisseur :	mdp
	Code commande :	HEDS 5540
	Prix :	2*8,32€
Renvois d'angle :	Description :	2 Renvois d'angle
	Fournisseur :	Conrad
	Code commande :	82 98 80-72
	Prix :	2*8,32€

IV. Module de commande des moteurs

V.1. Description:

Ce module permet la gestion de la vitesse de rotation de chacun des moteurs. Ce module est constitué de deux modules identiques commandés indépendamment permettant pour chacun de commander un moteur.

V.2. Cahier des charges:

- Gestion de deux moteurs.
- Type de moteurs: Courant continu.
- Puissance nominale des moteurs: 40W (3,2A).
- Tension nominale: 12v.
- Asservissement en vitesse pour pouvoir équilibrer parfaitement les vitesses des deux moteurs pour effectuer le déplacement désiré.

V.3. Solution:

L'asservissement sera réalisé comme suit:

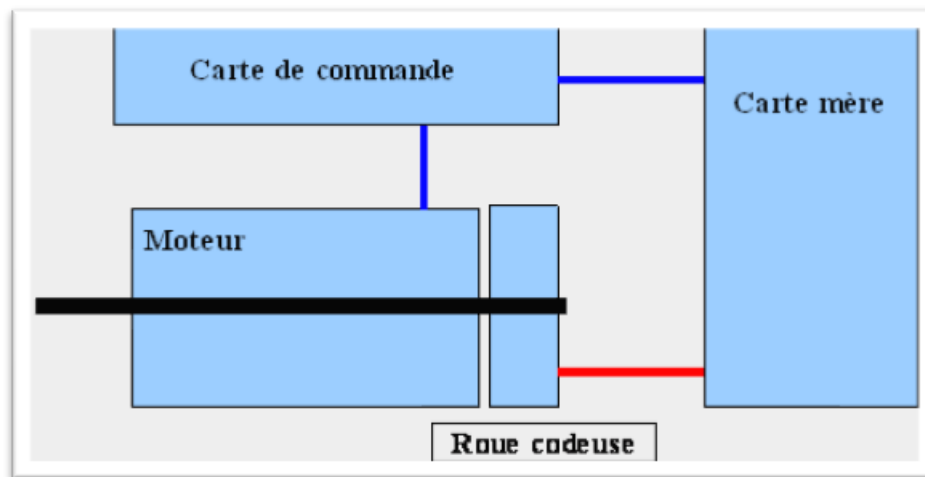


Figure IV.1: Schéma de principe de l'asservissement.

Nous effectuerons une mesure de vitesse de rotation du moteur grâce à une roue codeuse optique HEDS-5540 A12 (disponible chez MDP) placée directement sur le moteur, pour plus de précision (avant le réducteur).

La roue codeuse sort 500 impulsions par tour de moteur donc 6000 par tour de roue. A chaque impulsion, le robot a parcouru 41,9µm.

L'asservissement est donc effectué par la carte mère.

La carte de commande n'est autre qu'un variateur de tension commandée par quatre signaux PWM (Pulse Width Modulation c'est à dire modulés en largeur d'impulsion) provenant de la carte mère.

Nous décrirons seulement ici la carte de commande des moteurs.

V.4. La carte de commande :

Principe de fonctionnement :

La carte que nous allons réaliser fonctionnera sur le même principe que celle réalisée l'année dernière.

Le composant principal de cette carte est le pont en H.

Le principe du pont en H est le suivant :

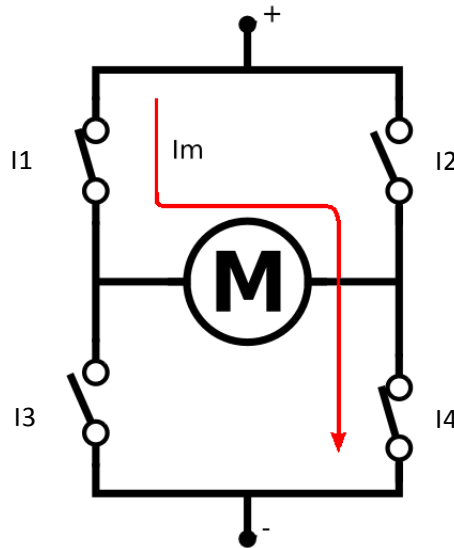


Figure IV.2: Principe du pont en H.

Chaque borne du moteur est reliée par interrupteur aux pôles + et – de l'alimentation. Ainsi, il suffit de jouer sur les interrupteurs de la façon indiquée dans le tableau suivant pour faire tourner le moteur dans un sens ou dans l'autre sens, le freiner ou l'arrêter.

I1	I2	I3	I4	Résultat
O	O	O	O	Moteur arrêté
F	O	O	F	Tourne dans un sens
O	F	F	O	Tourne dans l'autre sens
F	F	O	O	Freine

Figure IV.3: Différents états du pont en H.

Il suffit de commander les interrupteurs par des signaux PWM et de lisser le courant avant l'entrée du moteur pour avoir un variateur de vitesse par hacheur.

Réalisation :

Même si nous manquons de place sur le robot, il ne nous semble pas opportun de mettre en place le matériel pour fabriquer des cartes en CMS car outre les besoins en qualité de gravure, le soudage des composants est très fastidieux.

Cette carte est une carte de puissance. Elle devra donc être placée le plus loin possible des cartes faible puissance comme la carte mère.

Nous utiliserons la technologie double face car nous disposons à l'école de tout le matériel nécessaire au développement de telles cartes. De plus la création d'une carte double face n'est pas plus coûteuse qu'une carte simple face.

V. Module d'alimentation

V.1. Introduction

Le but de cette partie est de décrire l'élément qui va participer à l'alimentation du robot. Le dimensionnement de l'alimentation est un point clé du robot. C'est ce qui va conférer l'autonomie nécessaire à ce dernier pour effectuer les actions de déplacement et de ramassage.

V.2. Cahier des charges :

- Fournit une tension régulée et filtrée de 5V
- Fournit une tension de 12V
- Assurer une autonomie pour au moins 3 manches (4 minutes 30 s)
- Temps de recharge « raisonnable »

V.3. Les batteries

Avant de rentrer dans le sujet, quelques termes sont à connaître. L'autonomie correspond à la durée de fonctionnement pendant laquelle une batterie peut délivrer du courant avant d'être rechargée. La durée de vie utile correspond à la durée de vie de la batterie avant d'avoir à la remplacer.

Une batterie est une association d'éléments simples disposés en série et reliés électriquement en vue d'obtenir un générateur de courant continu.

Il existe plusieurs types de batteries que l'on peut envisager de monter sur le robot. Parmi elles, on peut citer notamment les batteries au plomb, au nickel (Ni-Cd et Ni-MH) ou au lithium.



Figure V.1 : Gamme de batterie au plomb

D'une manière générale, chaque batterie peut être caractérisée par de nombreux critères. Le choix final sera exclusif à l'application pour laquelle elle est destinée. Parmi ces critères de sélection, on peut retenir les suivants :

- La capacité, qui s'exprime en Ampère.Heure et qui représente concrètement l'intensité nominale que peut diffuser la batterie pendant un certain temps
- L'intensité maximale délivrable en sortie (en ampères)
- L'intensité maximale admissible pour la recharge (en ampères)
- La durée de vie, qui s'exprime en nombre de cycles charges/décharges ou parfois en années
- Le temps de charge
- L'effet mémoire, qui requiert des cycles de charges/décharges complètes pour que la capacité de la batterie reste optimale
- Le prix
- etc

Une batterie est constituée d'éléments de base. C'est l'association de ces éléments en série qui va permettre d'obtenir la tension de la batterie, qui sera un multiple de ces éléments.

Cependant, ces indications ne suffisent pas pour caractériser une batterie. Le cycle de charge et de décharge est très important.

V.4. Cycles de charge et décharge

Cycle de Charge

Il est primordial de bien connaître les différentes façons que l'on a de charger sa batterie. Une mauvaise utilisation peut entraîner sa destruction.

Concrètement, il y a 4 manières de charger sa batterie. Ce qui les différencie sont le temps de charge et l'intensité du courant à laquelle la batterie va être soumise.

La charge traditionnelle, ou normale, permet de charger complètement une batterie NiCd en 14 heures à courant constant égal à $1/10^{\text{ème}}$ du courant nominal, sous une tension minimale de 1.45V/élément (en dessous, la batterie ne se charge pas).

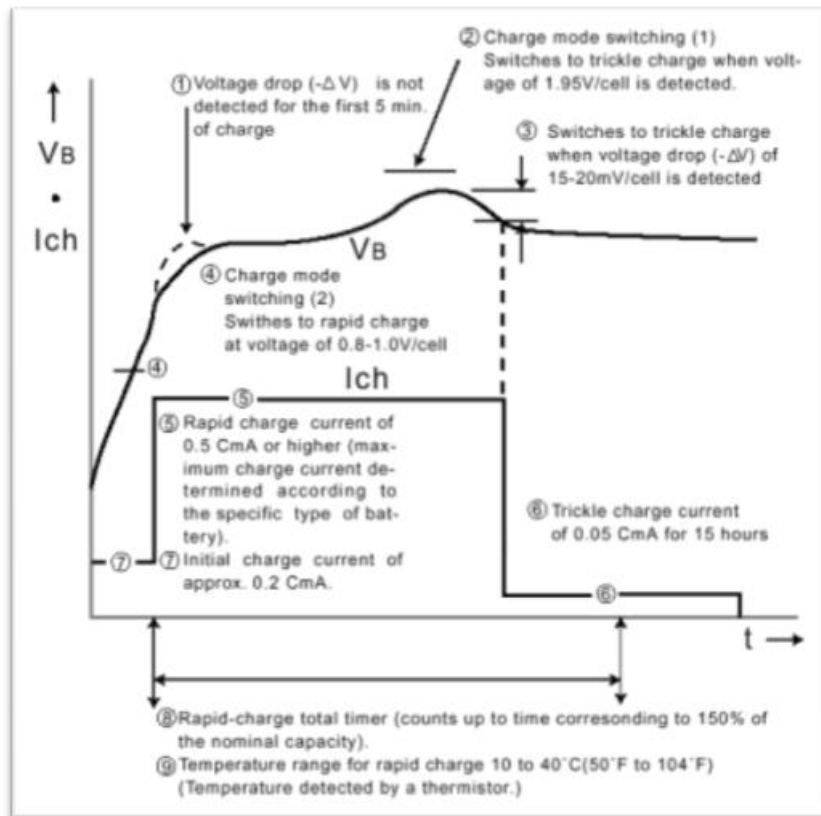


Figure V.2 : Courbe de charge d'une batterie

Sur la figure V.2, on peut remarquer qu'il y a 3 « niveaux » bien définis. Lorsqu'on charge une batterie, sa tension va augmenter, dans un premier temps, plus ou moins rapidement. Cela est proportionnel à l'intensité du courant qui charge la batterie. Puis, l'évolution sera plus lente jusqu'à la fin. Enfin, la tension va atteindre une valeur maximale.

Il est très important de pouvoir repérer ce maxima avant de charger sa batterie. Une fois cette valeur atteinte, la batterie sera totalement chargée. Un moyen de le repérer est de faire la dérivée de la tension par rapport au courant.

Il est important de couper la charge à ce moment là. Si on continue d'alimenter la batterie dans ces conditions, les éléments vont chauffer et se détruire partiellement (voire entièrement).

Le calcul du dV/dt est préconisé dans l'optique de charge rapide et accélérée.

Une charge accélérée s'effectue à $1/5^{\text{ème}}$ du courant nominal en 7 heures.

Une charge rapide s'effectue à courant nominal en 1 heure.

Dans les 2 cas, il est fortement conseillé de ne pas laisser en surcharge les batteries. Les conséquences sont plus importantes qu'une charge normale du fait de l'importance du courant qui circule. La charge de la batterie est également de moins bonne qualité. Il convient de s'assurer que l'accumulateur supporte ces types de charge et qu'il soit totalement déchargé avant d'entreprendre ces 2 types de charge.

Il est possible de s'affranchir des temps limites de charge en diminuant le courant. Ainsi, il existe la charge permanente qui s'effectue à $1/20^{\text{ème}}$ du courant nominal. En théorie, on peut laisser l'alimentation de la batterie une fois cette dernière chargée.

On préférera cependant l'alimenter avec un courant d'entretien, à $1/100^{\text{ème}}$ du courant nominal pour pouvoir maintenir uniquement sa charge en compensant les pertes, mais sans la charger.

Il est possible d'associer une charge rapide et une charge normale pour une meilleure efficacité.

Cycle de Décharge

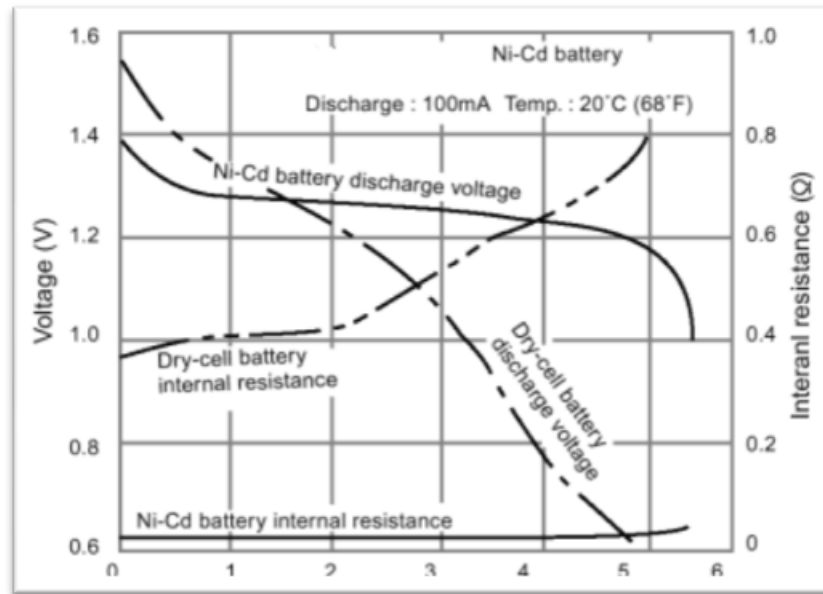


Figure V.3 : Courbe de décharge d'une batterie

La décharge d'une batterie comprend aussi 3 seuils. Lorsqu'une batterie vient juste d'être chargée au maximum de sa capacité, la tension/élément est en réalité un peu plus élevée que la tension nominale. C'est pourquoi on part de 1.4V. La tension chute rapidement, et se stabilise aux alentours de 1.2V. Enfin, la tension chute brusquement : la batterie est déchargée. Laisser la batterie se décharger en dessous de 1V/élément peut être dangereux.

V.5. Critères de choix

Pour nous, les 3 critères essentiels à prendre en compte sont la tension délivrée, la capacité de la batterie ainsi que la contrainte de poids.

Les batteries au plomb étant plutôt réservées à des applications fixes, nous préférons l'écarter.

Voici un tableau synthétisant les principales caractéristiques de ces batteries.

	Avantages	Inconvénients	Tension/élément	Exemples
Plomb (Pb)	<ul style="list-style-type: none"> -prix avantageux -solides -facile à recharger 	<ul style="list-style-type: none"> -poids 	2V/élément	Applications de puissance (industries, voitures)
Nickel Cadmium (NiCd)	<ul style="list-style-type: none"> -prix -facile à recharger -capable d'absorber de fortes intensités 	<ul style="list-style-type: none"> -poids -effet mémoire* considérable 	1.2V/élément	Modélisme, piles rechargeables
Nickel Métal Hybride (NiMh)	<ul style="list-style-type: none"> -capacité plus importante que le NiCd -effet mémoire négligeable 	<ul style="list-style-type: none"> -plus cher que le NiCd 	1.2V/élément	Identique au NiCd
Lithium-Ion (Li-ion)	<ul style="list-style-type: none"> -Relativement légère -Pas d'effet mémoire 	<ul style="list-style-type: none"> -Onéreux 	3.6V/élément	Electronique mobile (téléphones portables, ordinateurs portables...)
Lithium-Polymère (Li-Po)	<ul style="list-style-type: none"> -Plus légère que le Li-ion -Faible surchauffe 	<ul style="list-style-type: none"> -Plus cher que le Li-ion -Moins de cycles de vie -charge soumise à des restrictions 	3.7V/élément	Modèles réduits volants
Lithium-Nano phosphate de fer	<ul style="list-style-type: none"> -batterie robuste -rapide à charger (jusqu'à 	<ul style="list-style-type: none"> -Plus lourd que les Li-Po -Utilisation d'un chargeur spécial 	3.3V/élément	Modélisme

(Li-fe)	10*In) -Moins cher que les Li-Po -Accepte de fortes décharges -Durée de vie	adapté Li-Fe		
---------	---	--------------	--	--

* L'effet mémoire est un phénomène qui apparaît à l'utilisation. Ce dernier donne l'impression que la batterie devient moins performante et ne stocke plus autant d'énergie qu'au début. Cela impose donc un stockage dans un état déchargé

Les batteries au plomb sont écartées à cause de leur poids, qui les destinent plutôt à des applications fixes ou nécessitant un besoin de puissance important.

La capacité d'une batterie NiMh ayant, en moyenne, 40% de capacité en plus qu'une NiCd, nous la retenons avec la batterie de technologie Lithium.

Pour les batteries Li-Po, on choisirait une batterie 3 cellules qui délivrerait 11,1V (étant donné que les moteurs ne seront jamais en pleine puissance, on évite ainsi les perturbations électromagnétiques et on gagne en poids par rapport à une de 4 cellules)

De la même façon, nous devons choisir une batterie 3 cellules Lithium-ion, et une batterie 10 cellules pour la technologie Nickel.

Nous allons maintenant passer au dimensionnement de notre batterie.

V.6. Dimensionnement de la batterie

Pour dimensionner la batterie, il est nécessaire de connaître la tension qu'elle doit délivrer et sa capacité.

Concrètement, cela nous donne si on considère :

- 2 moteurs 12V/3,6A
- On souhaite tenir 2 manches minimum

La puissance nécessaire totale sera composée des 2 moteurs plus le reste qui représente le mécanisme de ramassage des balles et des épis. Si on prend une puissance de 200W sous 12V, cela nous donne un courant de 16A.

Selon la capacité des batteries, nous en déduisons le temps que l'on peut espérer atteindre.

La méthode de calcul est la suivante :

Données :

$P = 200W$; $U = 12V$; $I_n = 16A$; $C_c = 7A$; temps de décharge = 5 min ;

$$Tc = \frac{Ca}{Cc} * 1,2$$

Avec Tc = Temps de charge (H), Ca = Capacité de l'accumulateur (mAH), Cc = Courant de charge (mA)

Cela correspond au temps de charge théorique. Pour s’assurer d’avoir une charge complète, on multiplie généralement ce rapport par un facteur compris entre 1,1 et 1,4.

Pour le calcul du temps de décharge, nous savons que la capacité Q s’exprime :

$$Q = \text{Courant} * \text{Temps}$$

Capacité des batteries (mAH)	Temps de charge	Temps de décharge
1800	18 minutes et 30 sec	6 minutes et 45 sec
2200	22 minutes et 37 sec	8 minutes et 15 sec
4100	42 minutes	15 minutes et 23 sec

Les résultats pour le temps de décharge ont été calculés dans le cas le plus défavorable, c'est-à-dire pour une utilisation au maximum des capacités du robot.

Pour connaître l’état de charge de la batterie à tout instant, on peut se référer au niveau de tension.

12.6 V et plus	6.3 V et plus	100 %
12.5 V	6.25 V	90 %
12.4 V	6.2 V	80 %
12.3 V	6.15 V	70 %
12.2 V	6.1 V	60%
12 V	6 V	50 %
11.9 V	5.95 V	40 %
11.75 V	5.88 V	30 %
11.6 V	5.8 V	20 %
11.3 V	5.65 V	10 %
10.5 V	5.25 V	0 %

Figure V.4 : Estimation du niveau de batterie en fonction de la tension

Cela pourra être utile dans le cadre d’un besoin de vérification immédiat du niveau de charge de batterie, par l’intermédiaire d’un barreau à LED par exemple.

Après avoir fait un tour d’horizon des batteries, nous avons pu extraire 3 modèles intéressants :

Choix batterie et chargeur		
Batterie :	Description :	Li-Po (2200 maH)
	Poids :	156g
	Fournisseur :	Miniplanes
	Prix :	40€
Batterie :	Description :	Li-Fe (2300 maH)
	Poids :	280g
	Fournisseur :	Miniplanes
	Prix :	99€
Batterie :	Description :	Li-Po
	Poids :	351g
	Fournisseur :	Miniplanes
	Prix :	108€
Chargeur :	Description :	Chargeur Li-Po, Li-Fe
	Taux de charge :	0,1 à 7A
	Sécurité :	Ajustage de la sensibilité pour le Delta-Peak
	Fournisseur :	Miniplanes
	Prix :	131€

V.7. La carte Alimentation

Description :

La carte alimentation réalise l’interface entre les batteries et les composants électriques. Dans un montage électrique, on retrouve dans la plupart des cas plusieurs circuits. Chacun d’eux ont besoin d’une certaine tension d’entrée. La carte alimentation permettra notamment de fournir les différentes tensions nécessaires aux éléments à partir du 12v délivré par les batteries.

Cahier des charges:

- Tension d'entrée : 12v
- Conversion d'énergie
- Consommation faible

Solution envisageable:

Le pont diviseur de tension :

Cette première solution a l'immense avantage d'être simple et peu onéreuse à mettre en œuvre. En effet, il suffit de quelques résistances et d'un circuit imprimé. Etant donné que cette solution ne contient que des éléments passifs, il faudrait que la tension d'entrée soit plus élevée que les tensions de sortie, ce qui est effectivement le cas.

Cependant, on ne pourra pas la réaliser dans notre cas, car les inconvénients sont trop nombreux. D'une part, les moteurs et les bras vont demander beaucoup de puissance, et de fortes intensités. Il faudrait donc utiliser des résistances de puissance (grande taille). De plus, la variation de la tension de la batterie en cours de fonctionnement serait directement répercutée sur les tensions d'entrées des composants.

Solution choisie:

Le convertisseur DC/DC

Le principe de la carte sera le suivant :

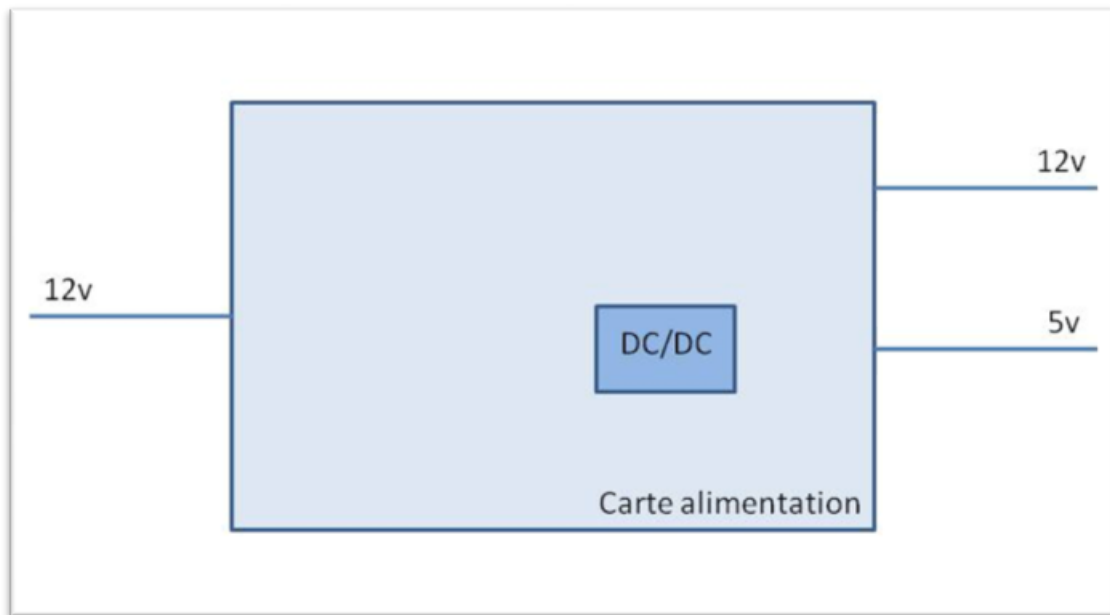


Figure V.5 : Carte alimentation – schéma de principe

La batterie est directement branchée sur la carte alimentation. Les composants à alimenter ont besoin de 12v (pour les moteurs), de 6v et de 3v.

Pour abaisser la tension, nous allons utiliser des convertisseurs abaisseurs. Ces convertisseurs continu/continu sont également appelés hacheur. Ils seront soudés sur la carte.

Principe de fonctionnement :

Les convertisseurs utilisés sont donc des hacheurs. Ce sont des alimentations à découpage, qui permettent d'obtenir une tension continue réglable à partir d'une tension fixe. Il existe plusieurs modèles de hacheur, selon l'utilisation qui en est faite (ex : convertisseur Boost pour faire un élévateur de tension, Buck pour un abaisseur).

Le point positif de ces convertisseurs est de fournir une tension régulée. En cas de variation de la tension d'entrée, lors de la décharge de la batterie, la sortie sera toujours constante.

Il peut être intéressant de rajouter un convertisseur 12v/12v. Pour les variations de tension dues à la décharge, le convertisseur permet de sortir une tension constante de 12v à 3,33A pour une entrée comprise entre [9-18v].

Convertisseur DC/DC		
Convertisseur 12v/5v :	Tension d'entrée :	9-18v
	Tension de sortie :	5v
	Courant de sortie :	8,8A
	Poids :	65g
	Fournisseur :	XP Power
	Prix :	40€

VI. Electronique de commande

VI.1. Introduction

Comme dans toute machine ou tout être doté de capacité de décision, la prise de décision fait intervenir une partie plus ou moins grande des variables de l'univers qui l'entoure en fonction du type de décision.

Chez un robot, le nombre de variables est très restreint, et le type de décision également, mais cela nécessite néanmoins un calculateur d'une puissance pour traiter les données et prendre la meilleure décision pour poursuivre son objectif. Objectif défini à l'avance par le programmeur, en même temps que la personnalité du robot, c'est à dire quelles actions le robot est programmé pour réaliser, dans quel ordre et comment il interprétera les données environnementales. Tout cela est programmé dans un ou plusieurs microcontrôleurs qui effectueront plus ou moins fidèlement la stratégie adoptée par le programmeur.

Nous allons lister ce que les équipes de robotiques utilisent en règle générale et ce que certaines équipes ont choisi d'utiliser. Et essayer de comprendre sur quels critères elles ont fait leurs choix, pour plus tard choisir notre circuit électronique.

Un cahier des charges sera défini à partir de ce que nous connaissons de la stratégie choisie et des contraintes de la coupe.

Nous listerons tous les composants disponibles sur le marché respectant le cahier des charges et ensuite nous choisirons un de ces composants.

Finalement nous détailleront un maximum les capacités de ce composant, les outils et les documents à maîtriser pour minimiser le temps de mise en œuvre.

VI.2. Cahier des charges

Historique d'autres équipes

Les microcontrôleurs utilisés par la Sophia Team les années précédentes étaient des ATMEL 8bits animés par une horloge de 8 à 20Mhz sauf en 2004 où il a été choisi une carte mère Pentium 3 qui permettaient d'effectuer un traitement d'image en temps réel.

Dans d'autres équipes, on retrouve le même schéma-type, la plupart utilise des microcontrôleurs peu puissants (ATMEL ou PIC ou MOTOROLA, etc. selon leur formation), et de temps en temps, une équipe essaye de se distinguer en utilisant plusieurs microcontrôleurs, répartissant ainsi la charge de calcul, ou des microprocesseurs/microcontrôleurs/DSPs/ASICs surpuissants.

Ainsi l'équipe Microb, connue depuis de nombreuses années pour ses talents en coupe de robotique, a utilisé en 2008 une carte Colibri XScale PXA320 clocké à 806MHz et capable de pas moins de 1000MIPS !!!



Points clés

Les équipes de robotiques choisissent leur carte de contrôle ou prise de décision en fonction de :

- la puissance de calcul et la capacité mémoire
- le nombre et le type d'entrées/sorties
- l'adéquation aux besoins du robot (timers, multiplieur vectoriel, interruptions, etc.)
- la facilité d'utilisation (programmation, débogage, etc.)
- le prix du composant et des outils nécessaires à l'utilisation
- la tension et la consommation demandée
- l'occupation de la carte dans le robot
- la sensibilité aux ondes électromagnétiques

Besoins liés à la stratégie

TI – Traitement d'Image

Tout les ans le traitement d'image devient de plus en plus abordable et surtout de plus en plus inévitable pour arriver à se déplacer sur le terrain parmi des obstacles fixes et mobiles ainsi qu'un adversaire qui en déplacement rapide ne pourrait être évité avec un capteur simple. Il faudrait anticiper le mouvement de l'adversaire ou tout du moins calculer une trajectoire vers l'objectif qui évite l'approche de l'adversaire, cela n'est possible que en cartographiant le terrain avec une (ou plusieurs) caméras.

Il existe deux façons d'effectuer le traitement d'image, la première qui est la plus chère mais la plus facile consiste à utiliser un module caméra comprenant un microcontrôleur qui reconnaît des zones de couleurs

renvoi comme données la position de celles-ci. Mais ce TI ne permet pas d'éviter le robot adversaire ou de détecter les bords de la table, qui consistent en une absence de couleur verte (zone de jeu).

La deuxième solution, consiste à récupérer l'image de la caméra et traiter ces données dans le microcontrôleur principal, ce qui peut être plus ou moins lent en fonction du temps d'accès aux données et surtout de la résolution de la caméra car les microcontrôleurs ont en général des puissances de calcul assez faibles.

Calculs de base

Ainsi pour un traitement d'image de base en 1 seul passage, il faut :

- récupérer l'image au près du capteur ayant 3 octets par pixel, et la stocker dans la RAM
 - requête + lecture + écriture = $3(\text{octets}) * (2 + 2 + 2)$ instructions assembleur par pixel
- effectuer le TI en 1 passage, accéder pour chaque pixel aux 8 voisins et enregistrer le résultat
 - lecture + calcul + décision + écriture = $3(\text{octet}) * 8(\text{pixels}) * (2 + 4 + 4 + 2)$ instructions
- décision finale (temps de calcul négligeable)

On peut donc estimer pour chaque pixel :

- $3(\text{octets}) * 18(\text{cycles}) = 54$ instructions assembleur

Ce calcul n'est bien sur qu'une estimation grossière de la puissance de calcul nécessaire, car le nombre de calcul et le nombre d'instructions assembleur dépendent beaucoup de l'architecture choisie ensuite.

Choix de la résolution

Pour calculer la résolution de la caméra, il faut connaître l'angle de vision, la résolution souhaitée à une distance maximum et la largeur minimum à percevoir pour pouvoir éviter les objets. Pour l'angle de vision, la plupart des caméras ont entre 55° et 60°.

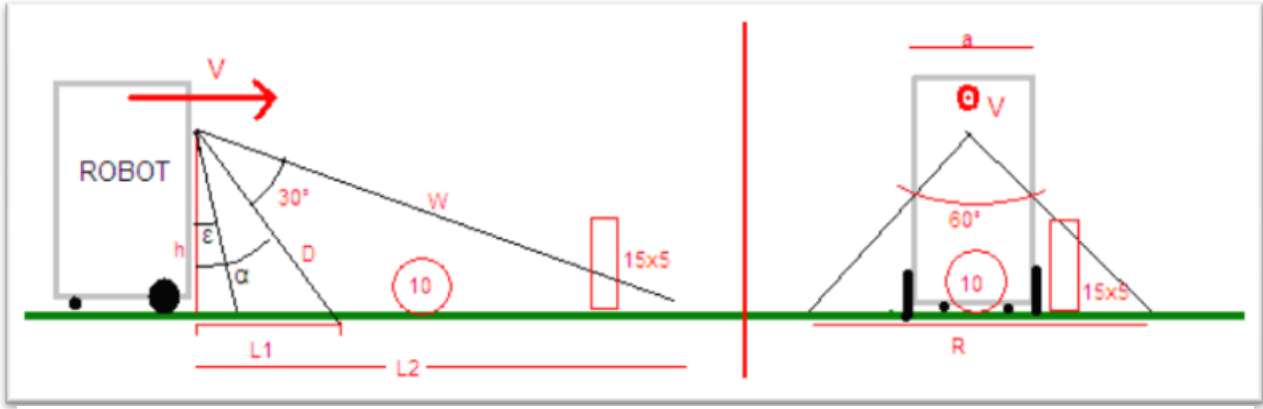


Figure VI.1 : Vue de côté et de face du robot sur la piste

Légende :

α est l'angle de que la caméra fait avec le sol, vaut $\epsilon + 30^\circ$

ϵ est l'angle mort de la caméra, qui vaut $\alpha - 30^\circ$

$L1$ est la zone où la reconnaissance de forme est possible, moitié inférieure de l'image,

$L2$ est la zone où la détection de l'adversaire et des bords de la piste sont possibles, correspondant à la moitié supérieure de l'image,

R est la largeur maximum de sol vue par la caméra pour reconnaître les formes,

h est la hauteur de la caméra, fixée à 30cm

D est la distance entre la caméra et la limite supérieure de la zone

W est la distance maximum de capture d'image, où la résolution est moindre,

V est la vitesse de déplacement, dont le maximum est à 50cm/s

Le cercle et le rectangle représente une tomate et un épi de maïs

$$L1 = h \times \tan(\alpha)$$

$$L2 = h \times \tan(\alpha + 30)$$

$$D = \sqrt{h^2 + L1^2}$$

$$R = 2 \times \tan(30^\circ) \times D$$

$$W = \sqrt{h^2 + (L1 + L2)^2}$$

(1) Angle α mini

L'angle mini est défini par la distance L1 minimum, distance à laquelle il peut être nécessaire de reconnaître un objet pour pouvoir l'éviter à la vitesse maximum du robot. Cette distance de reconnaissance de formes est donnée par la vitesse V du robot que multiplie le temps de réaction.

Le temps de réaction ou latence est la somme des temps de rafraichissement, 100ms pour le traitement d'image, 100ms pour le calcul de la trajectoire en fonction de la position et de la vitesse instantanée, et 100ms pour mettre à jour les valeurs des PWM et avoir un impact sur la valeur moyenne de la tension d'alimentation des moteurs, donc un temps de réaction de 300ms.

Le robot se déplaçant à 50cm/s maximum, il faut reconnaître un objet à 17cm. Mais pour reconnaître un objet de 5x15cm de haut il faut L1 soit 2 fois plus grand, donc nous prendrons 34cm, à qui correspond $\alpha = 48^\circ$.

A la distance L1, le robot voit le sol sur une largeur R ; $D = 45\text{cm}$; $R = 2 \cdot \tan(30^\circ) \cdot D = 52\text{cm}$

La largeur R minimum n'est autre que la largeur du robot plus quelques centimètres de sécurité pour manœuvrer ou alors la largeur d'un couloir d'épis de maïs. On se rend compte que cette distance est d'environ 52cms dans les 2 cas.

$\alpha_{\text{mini}} = 48^\circ$ (pour reconnaître les éléments de jeu assez tôt pour les éviter).

(2) Angle α maxi

La distance L2 est la distance à laquelle on peut reconnaître l'adversaire ou le bord de la table pour choisir un autre itinéraire, calculée à partir de α . Il faut faire attention à ne pas gâcher de la place sur l'image de la caméra pour capter des éléments extérieurs au jeu, c'est à dire L2 toujours inférieur à 2.2m, longueur de la table, qui correspond à $\alpha_{\text{maxi}} = 52^\circ$.

Pour arriver à reconnaître sur la piste un élément du jeu il faut un minimum de 20 pixels, car en dessous on a une trop grande incertitude sur la position de l'élément. L'élément le plus petit fait 5cm de large ce qui fait donc 2,5mm par pixel et qui correspond pour une image de 320x240 à 80cm de large (ou 160cm sur une image 640x480). Avec un angle de vue horizontal de 60° , cela veut dire que l'on peut reconnaître un objet jusqu'à $D = 69\text{cm}$ (ou 138cm) de distance de la caméra, qui correspond à $L1_{\text{maxi}} = 62\text{cm}$ (ou 135cm) et $\alpha = 64^\circ$ (ou 77°).

α_{maxi} calculé à partir de la résolution est supérieur à α calculé pour ne pas sortir de la table, donc nous sommes assurés de pouvoir reconnaître un objet sur la partie inférieure de la caméra en disposant la caméra de manière à rester à l'intérieur de la table de jeu.

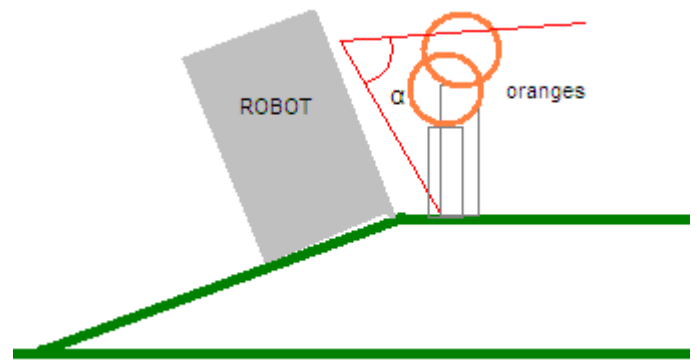
$\alpha_{\text{maxi}} = 52^\circ$ (pour capter uniquement ce qu'il y a sur la table).

Il faudra donc placer la caméra à 30cm de hauteur et $48^\circ < \alpha < 52^\circ$.

La résolution n'a que très peu d'influence car nous avons calculé que l'angle maxi est défini par la taille de la table.

(3) Zone couverte par la caméra

Il faut aussi pouvoir effectuer l'asservissement sur les oranges pour pouvoir les viser avec les ventouses. Pour cela il faut que les oranges ou au moins une partie apparaissent sur la capture d'image de la caméra. Cela est assuré par l'orientation de la caméra : le centre de la caméra est à 50° avec le sol, ce qui fait 80° en haut de l'écran et 96° en étant sur le plan incliné, donc la caméra pointe au dessus de l'horizon

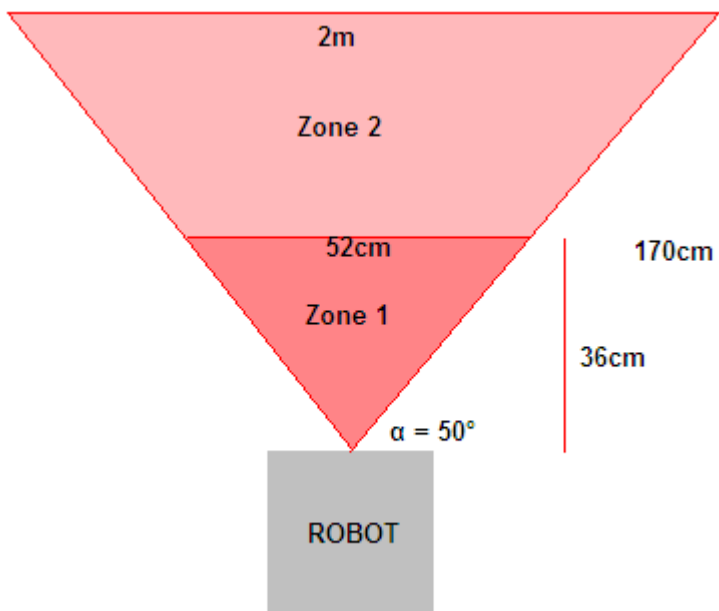


et peut facilement voir les oranges situées à 30cm.

Figure I.2. Ramassage oranges

Figure I.3. Zone couverte par la caméra

La zone 1 est la zone de détection d'objets et la zone 2 est la zone de détection de l'adversaire et des bords de la table de jeu pour changement de trajectoire.



(4) Temps de calcul

Il nous faut un temps de calcul de 100ms ou inférieur pour pouvoir effectuer un asservissement propre, soit 10 images/secondes. Les MIPS ne donnent que la vitesse de calcul pour le traitement d'image.

Résolution	Pixels	Nombre d'instructions	MIPS nécessaires
160 x 120	19 200	1 036 000	10 368 000
320 x 240	76 800	4 174 000	41 740 000
640 x 480	307 200	16 588 800	165 888 000
800 x 600	480 000	25 920 000	259 200 000

Comme énoncé précédemment, le nombre de MIPS nécessaire ne donne qu'une petite idée de la puissance de calcul nécessaire, car par exemple sur un processeur VLIW ou OOO avec plusieurs unités d'exécution, et avec des unités de calcul vectorielles, le nombre de MIPS pourrait être divisé par 2 ou 3 voir même 4.

Critères de choix de la caméra

Pour recevoir les données de la caméra, il faut que l'interface soit totalement numérique et facile à intégrer dans la programmation du robot.

Pour traiter facilement les données de la caméra sans avoir à retraiter chaque pixel il faut que la caméra soit capable de coder les couleurs selon la norme HSV (*hue, saturation, value*) correspondant à teinte, saturation, luminosité, car beaucoup moins sensible aux différences de luminosité que la norme RGB pour détecter les couleurs.

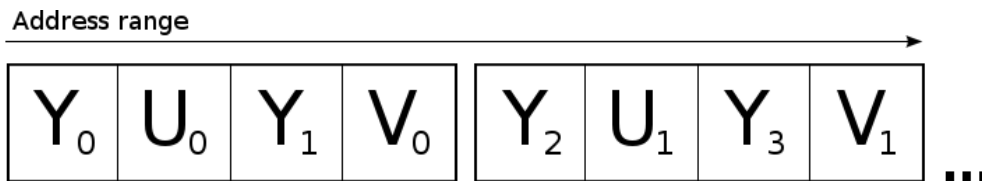


Figure VI.2 : Organisation des octets reçus de la caméra

En ce qui concerne la résolution, toutes les caméras sont capables d'une résolution de 640x480 et inférieur.

En ce qui concerne la rapidité par contre, peu de caméras adaptées aux robots (E/S digitales) permettent 15 images par seconde. Pour obtenir cela il faut que les données soient récupérées par un port parallèle, par exemple de 8bits. E/S digitales veut dire pas d'USB, pas de sorties analogiques, pas de caméra autonome (besoin de synchronisation à la carte mère).

Traitement des autres capteurs

Les autres capteurs ne nécessitent que peu de ressources mais doivent être interrogés assez régulièrement pour que les décisions prises à partir de ces capteurs aient du sens, c'est-à-dire qu'ils peuvent interrompre d'autre calcul pour exécuter les requêtes. On peut prendre 100ms comme temps acceptable et chaque capteur prendra environ 2000 instructions, en ayant 5 capteurs (2 odomètres, 2 radars ultrasons, registres caméra, asservissements), donnent aux total 100 000 instruction par seconde.

Prise de décision

La prise de décision coute aussi en calcul car elle prend en compte toutes les données enregistrées provenant des capteurs donc de l'environnement et aussi de la position et vitesse actuelle, de la position de l'adversaire, des choix effectués précédemment, du nombre de balles stockées, du temps de jeu restant, etc.

La fréquence de rafraichissement est la même que pour les capteurs, car pas de décision sans changement de données. On peut estimer le calcul à 5 à 10 fois plus que le traitement des capteurs soit environ million d'instruction par seconde.

Asservissement – Commandes de moteur

La commande des moteurs est vraiment peu gourmande, car les PWM ou sorties digitales ne demandent quasiment aucune ressource pour s'exécuter, seul le changement de paramètres ou d'état E/S demandent quelques instructions.

Cahier des charges final

Les capteurs ont différentes exigences, certains fonctionnent sur bus I2C, d'autre bus série normal, d'autres encore comme les caméras ont un bus parallèle et plusieurs E/S de synchronisation.

Au final il faut au minimum au niveau du processeur central :

- Une puissance de calcul non négligeable
 - 43MIPS pour une image 320x240 (ou 166MIPS pour une image 640x480)
- 2 sorties PWM + 45 E/S configurables pour les différents capteurs
 - Les moteurs eux ont besoins de sorties PWM ou TOR suivant l'utilisation
 - Pour une caméra CMOS il faut 8 entrées + 1 horloge + 2 signaux de synchronisation + bus I2C pour la configuration
- Des timers configurables
 - Réalisation horloge caméra, I2C, moteurs pas à pas, servomoteurs, etc.
- 2 ports séries
 - Pour les autres capteurs, il faut un bus I2C et une vingtaine d'E/S configurables, Pour communiquer avec d'éventuels autres microcontrôleurs, il faut 1 port série
 - Pour analyser les données en temps réel sur un PC pour le débogage, il faut un deuxième port série
- Configuration & débogage facile
- Prix faible pour la totalité de la chaîne de développement

La caméra, elle, doit avoir, entre autre, une interface totalement numérique

- Port parallèle 8 ou 24 bits pour plus de rapidité,
- Entrée horloge pixel, sortie horloge verticale et horizontale pour la synchronisation,
- Possibilité de configurer la résolution
 - Configuration par port série

VI.3. Sélection du matériel

Listage des solutions possibles

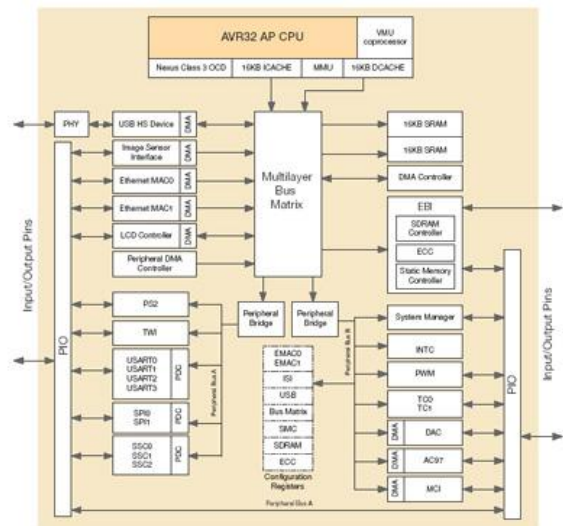
Microcontrôleurs

On sélectionne chez les différents fabricants de microcontrôleurs ceux qui respectent le minimum du cahier des charges fixé et ensuite nous ferons la comparaison. La seule façon d'atteindre la puissance désirée est de chercher dans les microcontrôleurs 32bits uniquement :

- ATMEL UC3 : 91DMIPS @ 66Mhz
- ATMEL AP7 : 210DMIPS @ 150Mhz
- ARM Cortex M3 : 75DMIPS @ 50Mhz
- Microchip 32bits : 120DMIPS @ 80Mhz
- μ P Intel/Marvell XScale PXA 270 ou 3xx de 200 à 800Mhz (1,2MIPS par Mhz)
- Infineon Tricore 150Mhz
- Freescale Coldfire V2 80Mhz



Caméras

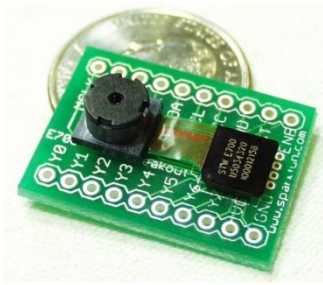


Pour les caméras qui répondent au cahier des charges, il y a un peu moins de choix :

- CMOS Camera Module - 640x480
- CMOS Camera - 640x480
- CMOS Camera - 640x480 <http://www.mobisensesystems.com>

Et caméras intégrant un TI pour comparer les capacités et les méthodes de TI.

- Eye [[Pob Technology](#)] (module intégrant un processeur de TI pour une image de 88x120)
- CMU-cam (module intégrant un processeur de TI pour une image de 176×144)



Comparaison Microcontrôleurs

La comparaison des microcontrôleurs se fait suivant 4 principes fondamentaux :

- 1) Puissance de calcul
- 2) Prix (de l'ensemble μC , programmeur, compilateur)
- 3) Flexibilité-Facilité d'utilisation (de programmation)
- 4) Consommation
- 5) Facilité d'accès

La puissance de calcul en DMIPS est à utiliser « avec modération » car en réalité ce test est effectué avec un programme de seulement 4ko et donc tout le programme est en cache, dans la réalité, il y a des accès mémoire, des branchements, des interruptions, des appels de fonctions (avec sauvegarde des registres) qui diminuent de beaucoup ce nombre d'instruction par seconde. Par dessus cela viens se greffer des opérations qui prennent plus ou moins d'instructions (suivant le jeu d'instruction) et qui augmentent ou diminuent le nombre d'opérations par seconde. Pour les opérations sur les images, il est nécessaire d'avoir un microprocesseur optimisé pour des accès mémoire rapides, avec un multiplieur câblé et si possible des unités de calcul adaptées au traitement d'image.

Le prix des microcontrôleurs est assez faible en général, ce qui par contre peut être onéreux pour une utilisation unitaire est le prix du compilateur et du programmeur.

Certaines marques proposent des Starter Kit donc le prix est assez élevé (de l'ordre de la centaine d'€) mais qui permettent d'être prêt à programmer et à débbugger en quelques heures.

Le quatrième étant négligeable malgré l'exigence d'autonomie car la consommation du microcontrôleur restera négligeable par rapport aux actionneurs du robot (propulsion, ramassage, etc.).

La facilité d'accès : il est évident que si le microcontrôleur n'est disponible qu'à Taiwan livrable en 6 mois avec une commande minimum de 1000 unités, ou ne serais-ce qu'une de ces conditions, nous nous dirigerons vers un autre μC .

Caméras

Pour comparer les caméras, qui se ressemblent beaucoup, il y a le prix, la disponibilité et la facilité d'intégration car le fonctionnement aussi est quasi-identique.

Certaines caméras sont configurables par port série (I2C ou SSPC ou autre) pour pouvoir régler la résolution, la vitesse de capture (15 ou 30 img/s), les réglages d'asservissements internes comme le contrôle de la luminosité et du contraste, et d'autres paramètres importants comme la norme de codage des couleurs (RGB ou HSV).

VI.4. Choix & justification

Microcontrôleur AP7000

Il apparaît que l'AP7000 est un microcontrôleur le mieux adapté grâce à son architecture optimisée qui contient un bus matriciel, c'est-à-dire que plusieurs périphériques, mémoires et unités d'exécution peuvent échanger des données en même temps, en 1 seul cycle d'horloge. De plus, il possède un multiplieur vectoriel permettant de transformer les octets d'un pixel RGB en un pixel d'une autre norme (par exemple YUV ou HSV), en 1 seul cycle également ou d'effectuer des calculs de TI sur ces pixels. Il est très économe et sa puissance bien au-delà de l'exigée permettrait d'intégrer tous les calculs¹ dans un même microcontrôleur. Il dispose même d'une interface hardware de capture d'image via une caméra CMOS externe.

Le seul problème étant que le microcontrôleur AP7000 n'existe qu'en boîtier simple face avec un pas entre broches de seulement 0,5mm, mais des starters kits permettent de le prendre en main rapidement et de l'utiliser directement sur le robot.

Starter Kit STK1000 : encombrante car compatible tous modèles ATMEL 32bits.

NGW100 : seulement 12cms de côté (carrée) et disposant de l'accès à toutes les broches du microcontrôleur, des régulateurs de tension nécessaires, d'une interface RS232, Ethernet, USB, JTAG et carte SD. De plus le programmeur n'est pas nécessaire car la mémoire flash contient déjà un linux embarqué complet et les programmes peuvent être chargés à partir de la carte SD ou du port Ethernet (fichiers partagés) et le compilateur C++ est libre (gratuit).

Prix : 100€ avec frais de port.

Caméra TCM8230MD(A)

La caméra choisie est une caméra CMOS TCM8230MD(A) :

- Capteur CMOS

¹ Traitement d'image, capture odomètres, calcul d'accélération et trajectoire asservissement, capture autres capteurs et prise de décision.

- Résolution VGA (640x480), QVGA (320x240), QQVGA, CIF, QCIF, subQCIF
- Capable de zoom X2 sur la plupart des résolutions
- Port parallèle 8bit
- Configurations par I2C :
 - Format RGB et YUV
 - Synchro verticale ou horizontale
 - Contrôle de gain luminance, contraste, exposition, etc.

Prix : 30€ pour 2 caméras avec frais de ports.

VI.5. Mise en Œuvre

Carte d'essais NGW100

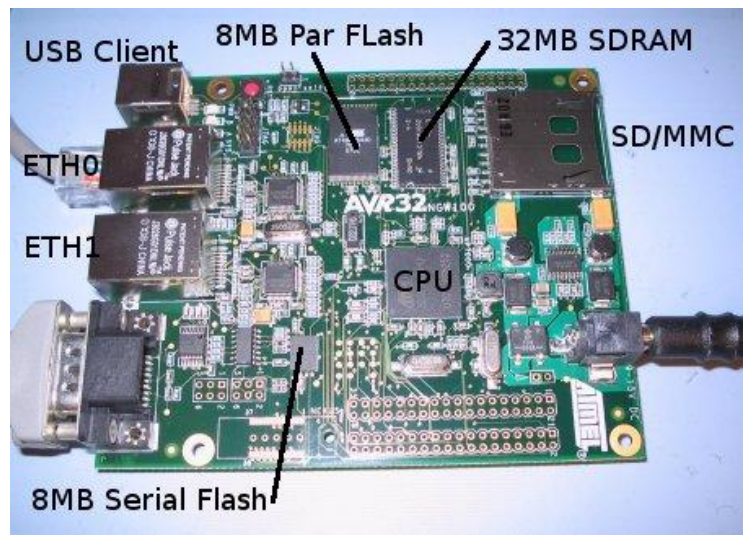
Cette carte contient un linux embarqué accessible à partir d'un PC connecté à la carte via un câble RS232 et un programme de communication supportant les caractères colorisés de linux, par exemple HyperTerminal. On obtient directement à l'écran (dans HyperTerminal) la ligne de commande du linux embarqué.

Pour pouvoir faire fonctionner le robot à notre guise, il faut installer un programme linux sur la carte qui contrôle toutes les E/S nécessaires au fonctionnement et qui démarre à la mise sous tension de la carte.

À partir de la ligne de commande et avec l'aide de la carte SD, on peut charger très simplement les programmes dans la mémoire SRAM ou FLASH, lancer le programme pour le débogage, et en phase finale, inscrire dans le noyau un démarrage automatique du programme. Pour le débogage, il est plus aisé si l'on achète un kit programmeur/débugueur JTAG, mais la version officielle de celui-ci coûte 300€, mais quelques versions DIY (Do It Yourself) le proposent à moins de 50€.

Pour créer le programme il faut écrire le source (en langage C ou assembleur) sous linux et le compiler avec un compilateur croisé spécifique à l'architecture de l'AP7000 d'ATMEL.

Le compilateur ainsi que l'IDE compatible avec ce compilateur sont disponibles gratuitement sur le site d'ATMEL dans la rubrique Produits 32bits.



Caméra CMOS

Pour que la caméra et son traitement fonctionne il faut relier les broches de la caméra à la carte mère :

- Synchro Horizontale (entrée)
- Synchro Verticale (entrée)
- Horloge caméra (sortie)
- 8 bits données
- SDA et SCL (I2C)

Il faut initialiser la caméra par la commande reset, puis lui demander d'envoyer les images en écrivant une valeur dans un registre de la caméra par l'I2C.

Puis il faut récupérer l'image octet par octet (4 octets par pixel, mais seulement 3 utiles). En même temps que la capture d'image on peut effectuer le Traitement d'Image suivant qui est relativement simple.

- On teste si le pixel fait partie d'une des couleurs disponibles sur la table de jeu
 - rouge, orange, jaune, vert, bleu, blanc ou noir
- On enregistre la couleur et la position moyenne de la zone contenant cette couleur, dans la mémoire et aussi la couleur dans le 4^{ème} octet du pixel pour comparer aux pixels adjacents.
- Puis on répète la même chose jusqu'à la fin de l'image pour chaque pixel.

A la fin de l'image on doit avoir en mémoire une ou plusieurs zones de chaque couleur et leur position centroïde, qui sera ramenée après à une position au sol par un calcul trigonométrique. La moyenne de la position verte n'a pas d'intérêt, seul les pixels n'appartenant pas aux couleurs de la table permettent d'éviter un adversaire dont on ne connaît pas la couleur.

VII. Repérage sur le plan de jeu et de l'adversaire

VII.1. Introduction

Lorsque l'on construit un robot il faut penser qu'il va se déplacer et donc il doit pouvoir se situer dans l'espace, c'est-à-dire visualiser où il est sur le plan de jeu et où sont les objets qu'il doit récupérer et où est son adversaire. Cette partie est indispensable si l'on veut pouvoir guider correctement le robot.

VII.2. Cahier des charges

Afin de réaliser cette partie il faut respecter certaines normes fixées par le règlement de la coupe de France de Robotique.

Tout d'abord, seul l'utilisation des lasers de classe 1, 1M, 2 et 2M est autorisée et de plus pour la France les 2 derniers lasers ne doivent pas avoir un rayon laser qui soit projeté en dehors de la table.

Ensuite plusieurs contraintes sont fixées pour les balises.

Les supports balises sont situés comme ci-dessous, chaque concurrent a 3 supports balises fixes qui sont placés à 350mm au-dessus du niveau de la table et à l'extérieur du plan de jeu. Les balises ne sont pas obligatoires et ne doivent pas être un élément perturbateur de l'adversaire. Elles doivent être contenues dans une base carrée de 80mm de côté et leur hauteur maximale est fixée à 160mm. Elles peuvent être connectées par une liaison filaire. La préparation doit être réalisée en 3 minutes maximum. Une balise de localisation peut être placée sur le robot adverse, cette dernière doit faire un cube au maximum 80 mm d'arête.

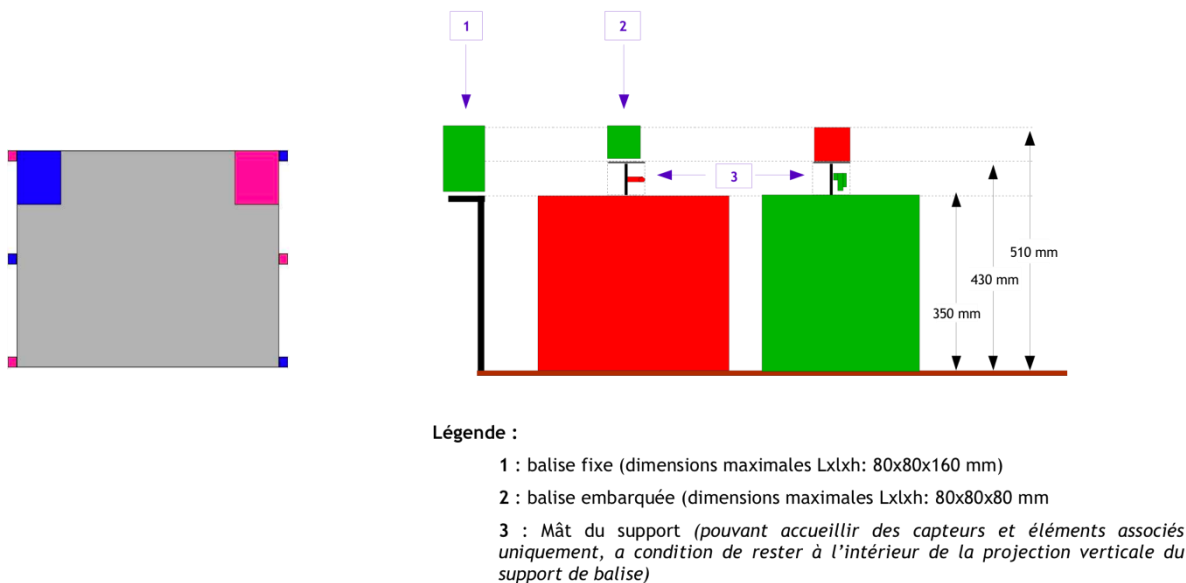


Figure VII.1 Placement et dimensionnement des supports balises

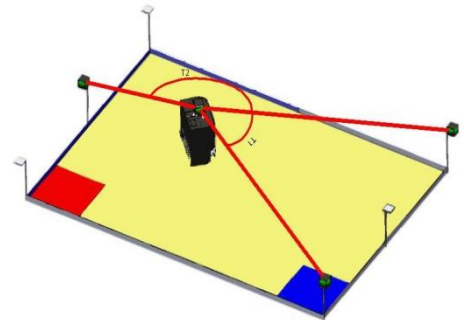
Pour l'utilisation de dispositifs à infrarouge, il faut tenir compte de la forte luminosité ambiante lors de la compétition.

VII.3. Solutions pour repérage sur plan de jeu

Utilisation de balises

- Repérage angulaire
 - utilisation de balises lasers

Le système de balise laser permet de calculer la position et l'angle des robots sur le plan de jeu. (CEVRA 2008). Il est constitué de 3 balises au bord du terrain, 1 balise sur notre robot et 1 balise sur le robot de l'adversaire. Sur les 2 balises mobiles un miroir tourne pour faire tourner un faisceau laser tout autour du robot. Le miroir tourne à une vitesse d'environ 10 tr/s, ce qui nous permet de connaître notre position ainsi que notre angle 10x par seconde. Les balises au bord du terrain comptent le temps que met le faisceau laser entre deux balises qui sont au bord du terrain. Avec quelques calculs trigonométriques, les balises peuvent déterminer la position et l'angle de chaque robot de la table.



La communication entre la balise fixe et mobile peut se faire, soit par HF, soit par infrarouge. Les balises peuvent switcher d'un mode à l'autre, en fonction des perturbations externes. Chacune des balises mobiles est constituée d'émetteur laser. Le faisceau laser frappe ensuite un miroir tournant, le miroir étant cylindrique, le faisceau devient alors une ligne. Ce qui nous donne alors, à la sortie de la balise, une ligne qui tourne. Ceci permet que même si les balises ne sont pas exactement à la même hauteur, le système fonctionne quand même. La ligne laser est étroite (2 à 3 mm), elle est détectée par une petite photo transistor, ce qui permet d'avoir une très bonne précision sur la table, de l'ordre de 1 cm sur toute la table.

Cependant les lasers sont difficiles à employer à la coupe, le règlement n'autorisant que deux classes de laser (les lasers de classe 1 et les lasers de classe 2). De plus il est stipulé que les faisceaux des lasers de classe 2 ne doivent jamais sortir du terrain. Or lorsque le laser pointera entre deux balises, il sortira du terrain. Ainsi seuls les lasers de classe 1 peuvent être employés. Ils sont durs à trouver et hors de notre budget.

- Utilisation de balises infrarouges

Avec un système infrarouge, les balises émettent un code en continu et le capteur à bord du robot les identifie. Les balises sont simples à réaliser et la difficulté se situe au niveau du capteur. Le robot PoBot a fait des essais et ils ont remarqué que le capteur ne voyait la balise d'une seule fois. Après l'avoir vue, il refusait de la détecter à nouveau. Ceci était probablement dû au capteur utilisé. Pour ne pas être perturbé, ils ont utilisé un capteur qui nécessitait un signal modulé. Lors des essais, ils ont remarqué que le robot voyait comme balise les pieds de chaises métalliques. Les reflets posent donc facilement problème.

- Repérage par les distances

Le robot mesure la distance qui le sépare de chacune des balises. A partir de ces distances et de la position des balises, le robot peut savoir où il se trouve. La théorie requiert 3 balises :

- Avec une balise, on sait que le robot est sur un cercle ayant pour centre la balise
- Avec deux balises, on sait que le robot est à l'un des deux points d'intersection des cercles ayant pour centre les balises
- Avec trois balises, on connaît le point où se trouve le robot

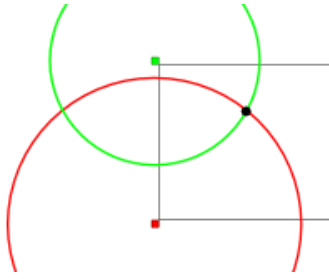


Figure VII.2 Repérage avec deux balises
Schéma explicatif du positionnement à deux balises

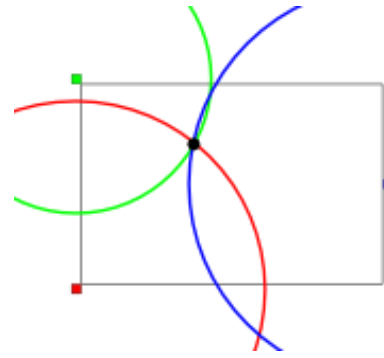


Figure VII.3 Repérage avec trois balises
Schéma explicatif du positionnement à 3 balises

Tel que sont posés les supports de balise, une astuce permet de ne se servir que de deux balises. En effet, en utilisant que les deux balises de gauche, l'une des positions possible est systématiquement en dehors du terrain. Cependant, cette méthode comporte un inconvénient majeur. On obtient la position du robot mais pas son orientation. Il est possible de palier à ce défaut en dérivant la position en fonction du temps.

Pour cela nous pouvons utiliser des balises ultrasons. Les balises émettent chacune à leur tour un signal ultrason. Le robot doit mesurer le temps mis par le signal entre la balise et lui. À partir de ce temps, il en déduit la distance, et peut savoir où il est.

Le problème qui se pose est de savoir quand est ce que la balise à émis le signal. Deux solutions s'offrent à nous :

- Soit les balises émettent à intervalles réguliers et le robot déduit l'instant d'émission lorsqu'il se trouve sur sa position de départ. Il connaît sa position et la position des balises, donc les distances les séparant, donc le temps mis par chaque signal pour parvenir jusqu'à lui. Il faut encore savoir quel signal provient de quelle balise. Soit il faut déplacer le robot et faire un deuxième calibrage, soit il faut insérer un code dans le message ultrason des balises.
- Soit les balises émettent à la demande du robot. Il faut donc les équiper d'un système de réception. Bien que plus compliqué à concevoir et un peu plus coûteux, cependant ce système semble bien plus simple à utiliser et permet de ne pas saturer d'ultrason l'air de jeux. Ceci facilitera l'utilisation d'autres capteurs à ultrason.

Repérage par odométrie

L'odométrie est une technique permettant d'estimer la position d'un véhicule en mouvement. Cette mesure de bas niveau est présente sur quasiment tous les robots mobiles, grâce à des capteurs embarqués permettant de mesurer le déplacement parcouru par le robot. L'odométrie repose sur la mesure individuelle des déplacements des roues pour reconstituer le mouvement global du robot. En partant d'une position initiale connue et en intégrant les déplacements mesurés, on peut ainsi calculer à chaque instant la position courante du véhicule. Pour faire cela il faut mesurer la distance parcourue par 2 roues libres au moyen d'odomètres, un dispositif électronique de roues codeuses qui déclenchent des capteurs optiques (encodeurs). La distance parcourue correspond alors à cette mesure discrète (un certain nombre de pas par tour) de la rotation des roues qui supportent les odomètres.

Description des roues codeuses : son but est de renvoyer un signal qui dépend du déplacement effectué par la roue. Les roues codeuses industrielles sont généralement composées d'un faisceau lumineux et d'une roue perforée de manière régulière. Suivant la position de la roue, le faisceau lumineux est interrompu ou non. Un capteur détecte la présence du faisceau et renvoie un signal électrique. Plus la roue tournera vite et plus les créneaux du signal seront rapprochés.

Les roues codeuses peuvent être réalisées avec des roues de souris à boule. Ces capteurs sont assez robustes et peu sensibles à l'éclairage ambiant et aux erreurs d'alignement. Les roues sont montées directement sur les axes des roues. Sur une transmission qui a beaucoup de jeu, il faut mesurer au plus près de la roue, pour ne pas être perturbé par le jeu mécanique. Les roues codeuses peuvent être déplacées selon l'axe des roues pour ajuster leur position. Les fourches optiques peuvent aussi se déplacer en hauteur et en profondeur pour obtenir un alignement convenable. Le choix des résistances de polarisation est essentiel et détermine le bon fonctionnement des codeurs. En augmentant l'intensité qui traverse la diode émettrice, on rend le système moins sensible à la lumière ambiante. L'information délivrée donne une estimation de la position du robot. Le robot recalcule 40 fois par seconde sa position grâce à l'avancement détecté sur chaque roue. La précision obtenue sur la position est excellente.

Avec les données suivantes nous pouvons déterminer une estimation de la position du robot.

Nombre d'impulsion : 500 impulsions par tour

Rapport de réduction du réducteur = r

Diamètre de la roue : D (80mm)

Distance parcourue entre 2 impulsions : d

$$E = \frac{4 \times \pi \times R}{D \times N} = \frac{4\pi \times 80 \times 10^{-3}}{2 \times d \times 500}$$

Nous pouvons aussi calculer la vitesse de déplacement du robot :

$$V(m.s^{-1}) = R(m) \times \omega(rad.s^{-1}) = 125 m.s^{-1}$$

$$\omega = 2 \times \pi \times N$$

Résumé

Types de procédé	Avantages	Inconvénients
Balises laser	Système fonctionnant même si les balises ne sont pas à la même hauteur. Très bonne précision (1cm sur toute la table).	Les types de laser sont limités à 2. Le laser sortira du plan de jeu donc le type 2 ne convient pas et le type 1 est trop cher pour notre budget.
Balises infrarouge	Principe de base assez simple. Grande robustesse face aux imprécisions mécanique. Composants peu onéreux. Rapidité de détection et de suivi.	Distance de détection sensible au rayonnement ambiant. On ne peut pas obtenir de mesure de distance précisément.
Balises à ultrason	Peu dérangé par le milieu extérieur. Peu d'électronique donc faible encombrement. Facile à réaliser	Dysfonctionnement si les concurrents utilisent le même type de système. Parasites. Rebondit sur les différentes surfaces.
Système par odométrie	Excellente précision. Peu sensible à la lumière. Capteurs robustes et simples	Problème de patinage des roues codeuses. Pour se recalibrer il faut soit se placer dans un coin, soit par caméra numérique

Ainsi nous utiliserons la solution par odométrie qui est la plus appropriée à notre système.

VII.4. Solutions pour repérage de l'adversaire

Le radar de poursuite et de mesure à ultrason

La maquette est composée :

- un émetteur ultrasonore (40 kHz) simulant une cible à détecter,
- un « radar » parabolique équipé en son foyer de deux récepteurs ultrasonore.
- un moteur pas à pas permettant une rotation de la parabole dans le plan horizontal
- Une électronique de traitement permettant de mesurer la distance à la cible et commander le moteur afin de pointer en direction de la cible.

PRINCIPE DE MESURE D'ANGLE ET DE POURSUITE

A l'image d'une vision stéréoscopique, les deux récepteurs reçoivent, le signal émis par la cible. L'« intersection » des lobes émission et réception définit la quantité d'énergie reçue par chaque récepteur. Si la cible est centrée sur l'axe de la parabole, le niveau reçu par les 2 récepteurs sera identique. Sinon, un récepteur recevra plus d'énergie que l'autre. Et le radar tournera pour suivre la cible (mode poursuite). En dehors des 2 lobes réception (cible en dehors du champ de vision du radar) le niveau reçu sur chacun sera très faible. Le radar se placera alors en mode recherche. Pour éviter des problèmes mécaniques et électriques, la course du radar est limitée à 180° par des interrupteurs magnétiques. Il fera donc des « aller et retour » dans cette plage. Les deux figures ci après illustrent ce principe.

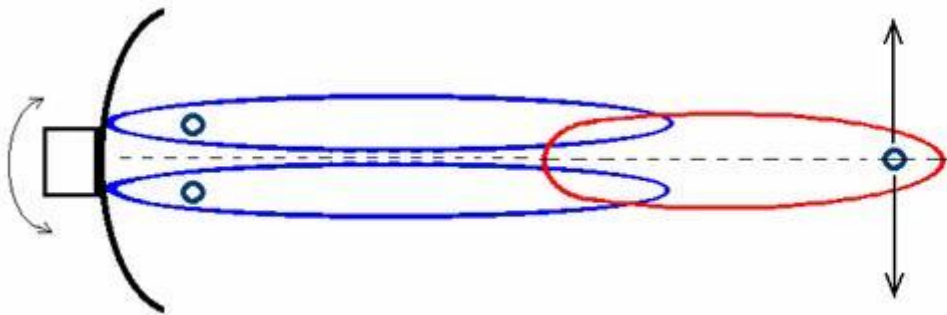


Figure VII.4 Cible centrée

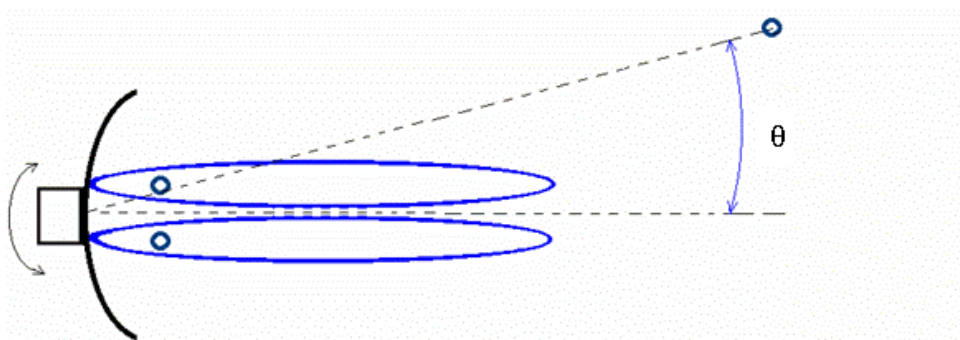


Figure VII.5 Cible non centrée

En fonction de l'angle de dépointage q , la différence théorique des signaux reçus sur chacun des récepteurs aura l'allure suivante :

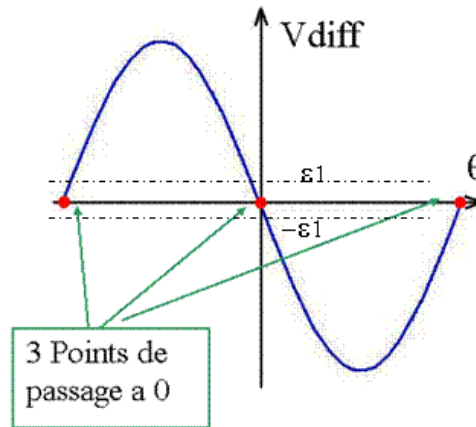


Figure VII.6 Courbe en S

Le traitement de ce signal permet de faire tourner la parabole vers la droite ou la gauche mais il subsiste une ambiguïté car ce signal est nul aussi bien lorsque la cible est centrée que située à $\pm 90^\circ$ complètement en dehors du champ du radar.

Cette ambiguïté est levée en exploitant la somme des signaux reçus :

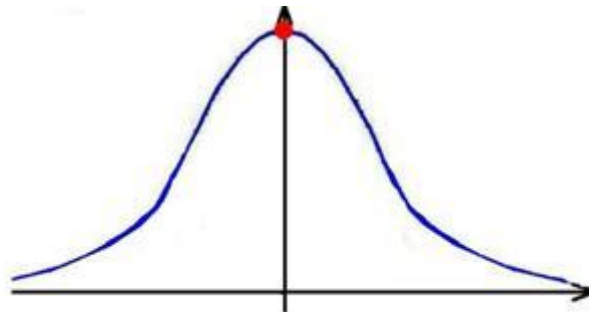


Figure VII.7 Somme des signaux

Après une mise en forme par des comparateurs, les signaux sont envoyés dans une logique de contrôle dont le fonctionnement est le suivant :

- 1- Si $V_{\text{somme}} > e2$ alors la cible est dans le champ de vision du radar
 - Si $-e1 < V_{\text{diff}} < e1$, arrêt moteur (cible centrée).
 - Si $V_{\text{diff}} > e1$, le moteur tourne à gauche.
 - Si $V_{\text{diff}} < -e1$, le moteur tourne à droite
- 2- Si $V_{\text{somme}} < e2$ alors la cible est éteinte ou absente du champ de vision :
 - Phase de recherche \Rightarrow un A/R et arrêt sur le "fin de course" gauche.
 - Nouvelle recherche relançable manuellement par bouton poussoir.
 - Si la cible est localisée alors retour à la phase 1).
- 3- Si sur intensité ($SI=1$) dans les enroulements du moteur alors extinction de toutes les phases :
 - Relance possible après coupure de l'alimentation générale.

Le comptage des pas du moteur, permet alors de connaître la position angulaire de la cible par rapport à une référence.

PRINCIPE DE MESURE DE LA DISTANCE

Le principe adopté est celui du radio altimètre des avions.

On effectue sur le signal émis un balayage en dent de scie de la fréquence. Le signal émis est reçu un instant DT plus tard, proportionnel à la distance d parcourue *dans l'air* par l'onde à la vitesse c (m/s) = $331 \times (T_k \text{ en } K)$.

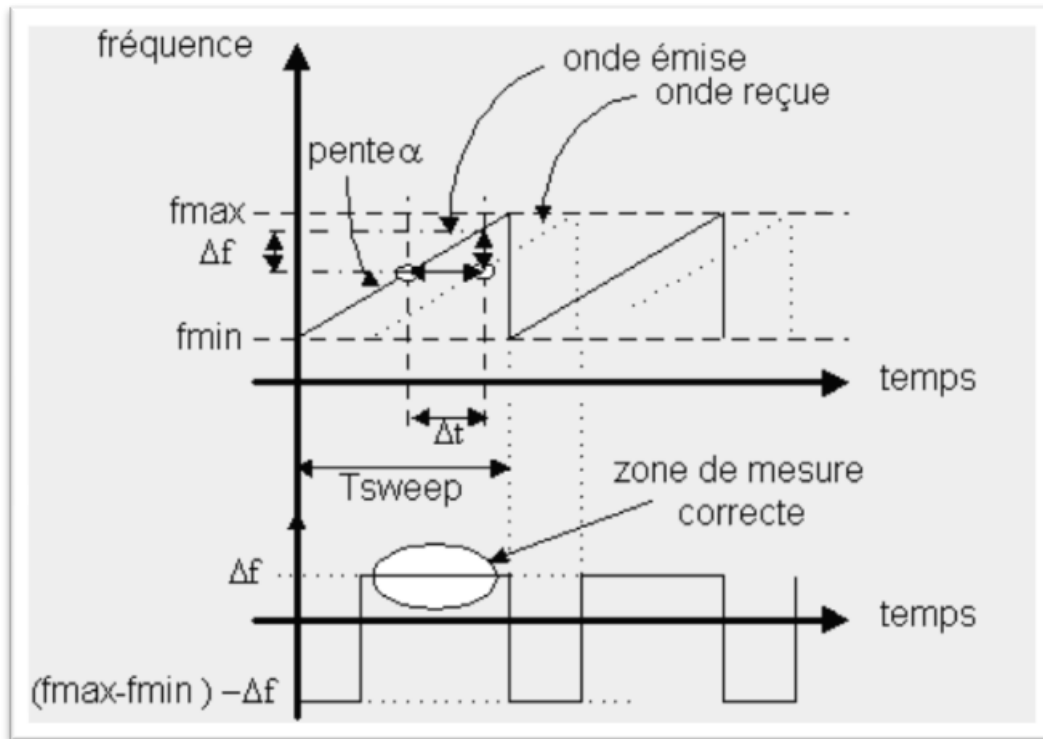


Figure VII.8 Principe du radioaltimètre

En mesurant l'écart Df entre la fréquence reçue et la fréquence émise, on peut en connaissant la température ambiante T_k et la vitesse de balayage (pente de la dent scie à (Hz/s)) calculer DT et donc la distance :

$$d \text{ (m)} = (Df / a) \cdot 331 \times$$

Pour limiter l'impact du saut de fréquence de f_{\max} à f_{\min} en fin de dent de scie et que la mesure soit correcte, il faut que DT soit faible devant T_{sweep} ou inhiber la mesure pendant l'instant où elle n'est pas correcte.

On peut aussi réaliser un balayage triangulaire ce qui a pour effet de modifier le diagramme comme suit :

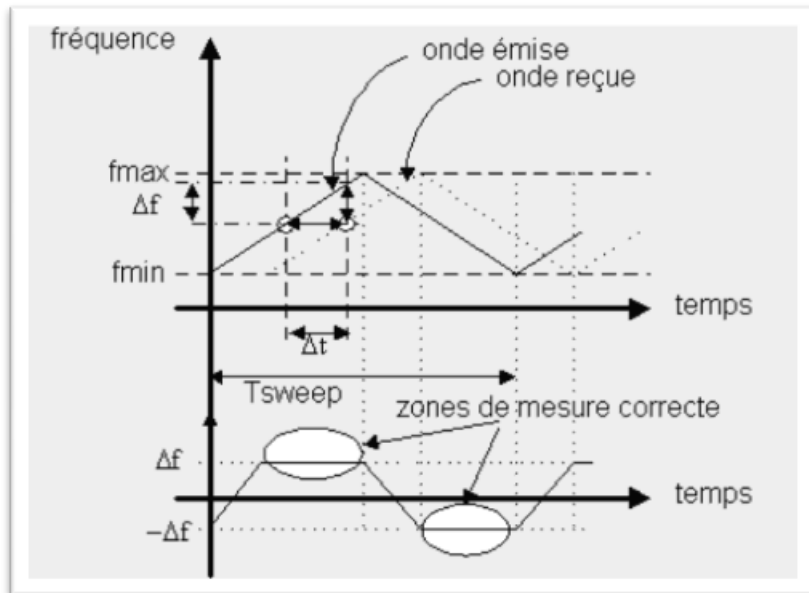


Figure VII.9 Balayage triangulaire

Cependant, dans les deux cas, il existe une ambiguïté de mesure modulo T_{sweep} : on aura pour le même D_f pour $D_t + n.T_{\text{sweep}}$. La levée de l'ambiguïté est possible en faisant plusieurs mesures successives avec des T_{sweep} différents. Dans notre cas, on ne traitera pas ce problème en réduisant la gamme de mesure pour maintenir $D_t \ll T_{\text{sweep}}$.

Contrairement aux émetteurs US classiques, les modules ultrasoniques « prowaves 400B160 » sont large bande et autorisent un balayage de fréquence entre 40 et 50 kHz. La mesure de distance s'effectue alors suivant le principe évoqué en récupérant le battement entre les fréquences instantanées émises et reçues. Au moment de la discontinuité de la dent de scie synoptique, la mesure est erronée. Pour plus de précision, On peut inhiber la mesure pendant cet intervalle de temps. Mais si l'on suppose qu'il est petit devant T_{sweep} , on peut négliger son impact par commodité. Une conversion fréquence tension permet d'obtenir une tension proportionnelle à la distance mesurée.

SYNOPTIQUE GENERAL

La réalisation conjointe de mesure de distance et de poursuite cible conduit au synoptique général suivant :

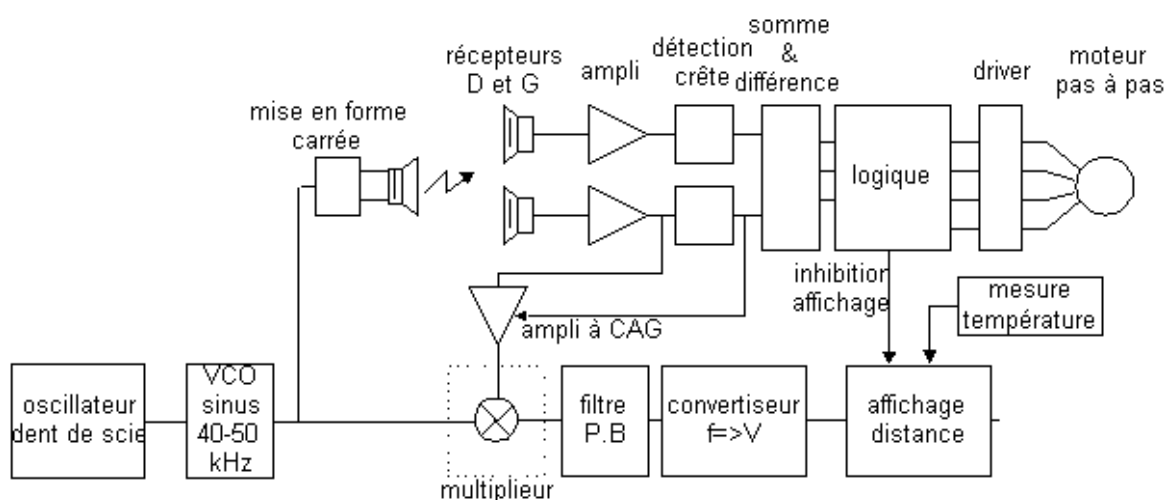


Figure VII.10 Synoptique général

Un amplificateur à CAG (contrôle automatique de gain) (ou une simple porte logique selon les envies) été intercalé entre la voie réception et le multiplieur afin que celui ci travaille avec des niveaux constants sur ses entrées. Pour une mesure correcte de la distance, celle ne sera validée que lorsque la parabole pointera sur la cible. L'ordre de validation sera donné par la logique de pilotage du moteur d'asservissement.

Détection par rayon lumineux (laser ou infrarouge)

Le catadioptre ou plus précisément un système optique catadioptrique est la base des dispositifs rétro-réfléchissants. Il sert à réfléchir un faisceau lumineux visible ou du proche infrarouge dans la direction du flux lumineux entrant, quel que soit l'angle d'incidence (ce qui n'est pas le cas du miroir plan).

Principe de fonctionnement :

Considérons un système composé de trois miroirs placés à angles droits dans les trois plans de l'espace (formant un trièdre). Lorsque la lumière atteint l'un des miroirs, elle est renvoyée vers le deuxième, puis vers le troisième, puis vers l'émetteur. Grâce à la perpendicularité des miroirs, les angles des réflexions successives se compensent, de manière à envoyer, à la fin, le rayon parallèlement au rayon incident, avec un léger décalage, lié à la distance entre le point d'entrée du rayon sur le premier miroir et le point de convergence des miroirs (décalage le plus souvent négligeable).

Ceci constitue un système optique dit catoptrique (relatif à la réflexion de la lumière).

Une lentille placée devant cet assemblage permet de focaliser le rayon à l'entrée, lui permettant de moins se disperser en retournant vers l'émetteur. La lumière subissant au moins une réfraction, le système optique est dit catadioptrique (de dioptre).

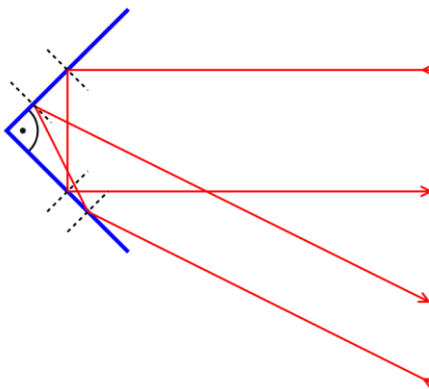


Figure VII.11 Principe de fonctionnement d'un catadioptre

Utilisation pour la détection

Pour les systèmes de détection de présence par rayon infrarouge, par exemple, il suffit de placer le récepteur infrarouge juste à côté de l'émetteur et de les faire pointer tous les deux vers un catadioptre. Le système DEL infrarouge + lentille concave + catadioptre est le système employé dans la plupart des barrières IR.

On peut aussi détecter l'adversaire en utilisant un télémètre laser. Ce dernier est un appareil permettant de mesurer les distances. Un rayon laser est projeté sur une cible qui renvoie à son tour le rayon lumineux. Le boîtier électronique calcule le déphasage entre l'émission et la réception. Pour cela un rayon modulé en

fréquence est projeté sur une cible. La cible renvoie ce rayon vers l'appareil. Le temps mis par le rayon pour revenir est mesuré et la distance séparant l'utilisateur de la cible est calculée.

La mesure de distance est directement déduite du « temps de vol » aller-retour de la lumière entre la source laser et le photorécepteur, via la cible illuminée. On peut ainsi directement accéder à la valeur absolue de la distance, par opposition aux dispositifs de comptage ou de défilement qui n'indiquent que des déplacements. A priori, la technique par temps de vol est l'une des mieux adaptée pour la mesure de distance dans une grande plage de valeurs relatives. D'autre part, cette technique offre l'avantage de pouvoir répondre sur des surfaces de nature quelconque, du type diffusantes ou non coopératives. Ainsi, une fraction de l'énergie optique reçue est rétrodiffusée par la surface de la cible dans la direction incidente du faisceau laser.

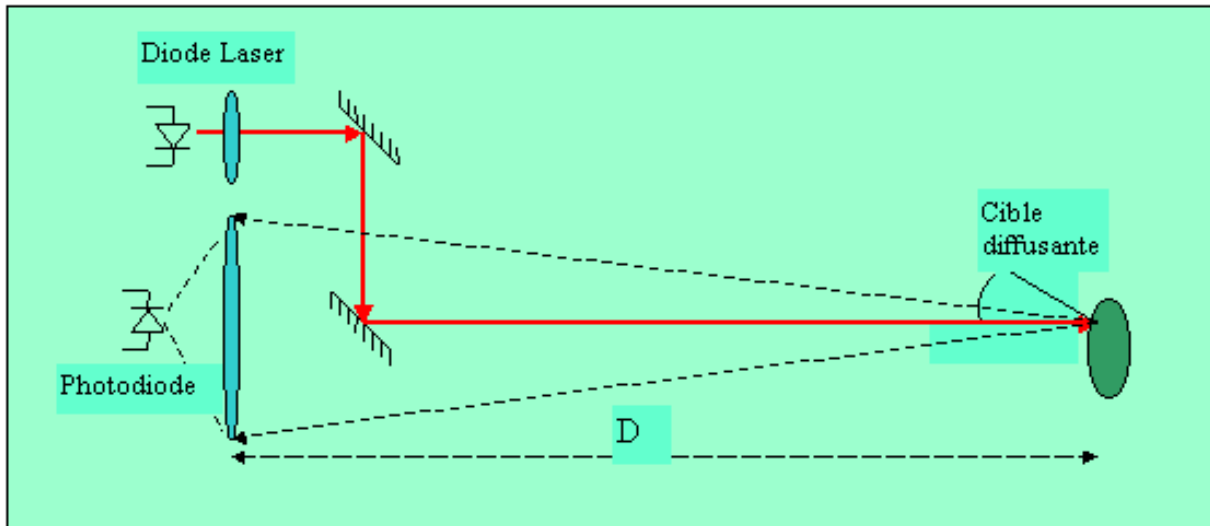


Figure VII.12 Principe d'un télémètre à diode laser fonctionnant par temps de vol

Pour accéder à la détermination de la distance par temps de vol, il apparaît principalement deux techniques « classiques » :

- la 1ère correspond au régime impulsionnel
- la 2ème utilise le régime sinusoïdal permanent.

Dans ce cas, deux méthodes sont alors possibles :

- l'une fonctionne à une fréquence fixe : par déphasage
- l'autre méthode est basée sur une technique de modulation de fréquence.

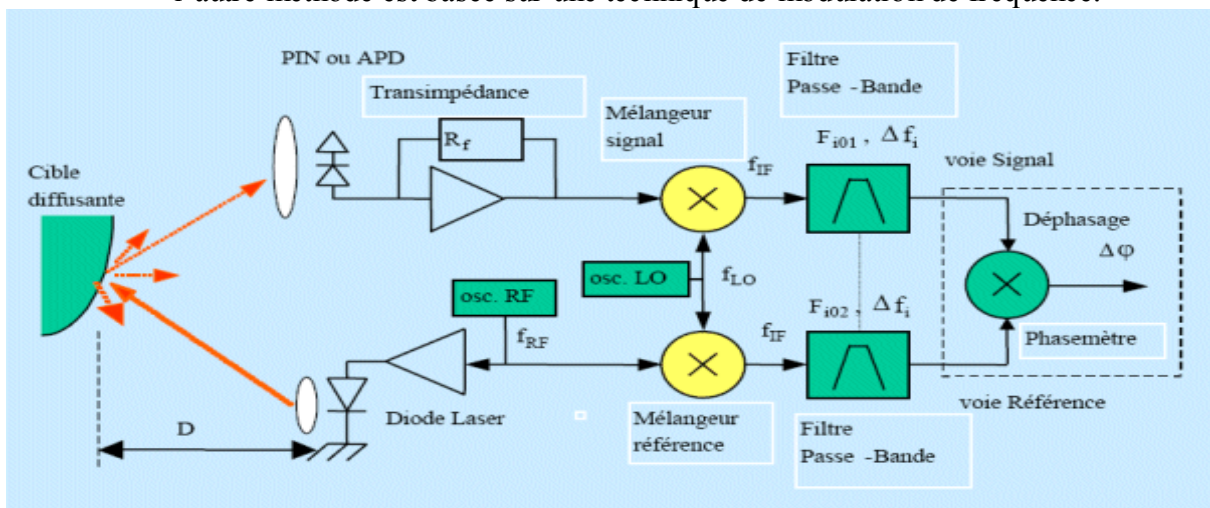


Figure VII.13 Schéma de principe du télémètre par déphasage

Résumé

Types de système	Avantages	Inconvénients
Utilisation d'un radar à ultrason	Bonne précision (au cm près)	Système entraînant des bruits dû aux aspérités de la table Système lent et difficile à mettre en œuvre
Détection lumineuse par infrarouge	Facile à réaliser, permet de détecter les couleurs et les contrastes. Pas de perturbation extérieure. Résiste aux chocs et vibrations	Il ne détecte pas le noir (couleur de nos maïs fixes)
Détection lumineuse par laser	Système rapide et très directif Utile sur n'importe quelle surface	Système couteux si on veut des fréquences de l'ordre du GHz. Qualité des mesures dépendent de l'utilisateur suivant la stabilité et l'endroit visé. Assez cher.

VIII. Ramassage et Stockage des tomates

Cette année, les éléments de jeu sont particulièrement volumineux. En effet, 10 cm de diamètre pour les oranges et les tomates et 15 cm de haut pour les épis de maïs (5 cm de diamètre). Le problème principal sera donc le stockage. Cette taille implique un poids, surtout en ce qui concerne les oranges et les épis de maïs, il y aura donc une contrainte de puissance des bras mécaniques.

Nous allons donc, dans un premier temps, faire une étude sur les tomates avec leurs caractéristiques ainsi que leur position sur la table de jeu. A partir de là, nous allons évoquer les différentes solutions auxquelles nous avons pensé en pesant les avantages et les inconvénients de chacune d'entre elles. Nous évoquerons enfin la solution retenue ainsi que toutes ses caractéristiques techniques et la liste de matériel nécessaire à sa réalisation.

Tout d'abord, notre idée est que le système de ramassage des tomates puisse fonctionner pour des oranges qui seraient tombées de leurs arbres (seul le poids diffère, leur taille étant identique).

Il est à noter que les solutions que nous allons exposer apparaissent dans l'ordre chronologique c'est-à-dire dans l'ordre des idées que nous avons eues.

VIII.1. *Cahier des charges*

Description : Ramassage des tomates (cf. figure (VIII.1)) sur la partie plane de la table de jeu.

Caractéristiques des tomates :

- Sphériques
- Diamètre : 100mm
- Masse : 150g (éléments les plus légers)
- Type : balles de jonglage
- Couleur : Rouge

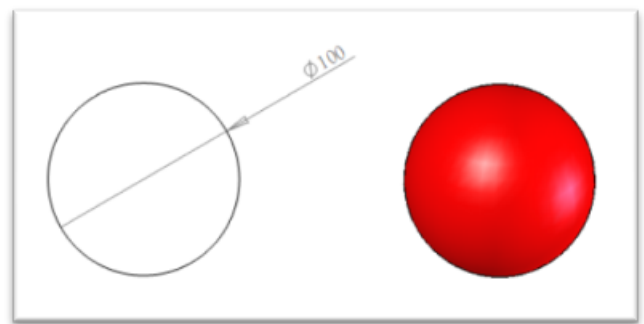


Figure VIII.1 : Les tomates

La figure (VIII.2) ci-dessous présente la table de jeu avec la disposition des éléments. Il y a 14 tomates à ramasser au total.

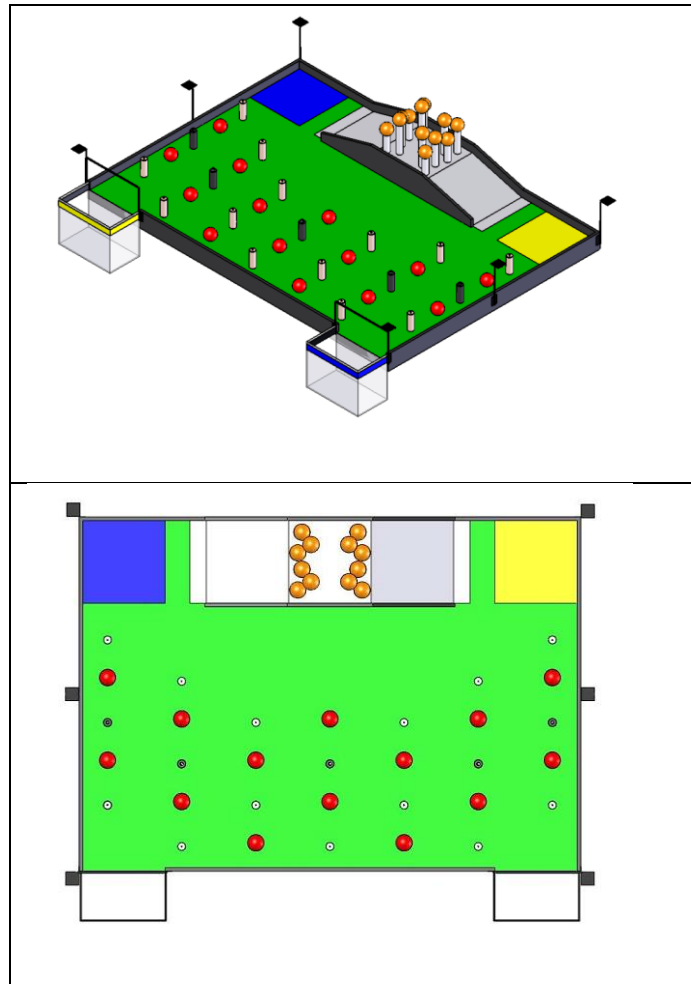


Figure VIII.2 : La table de jeu.

VIII.2. Solutions envisageables

Système à « moulin »

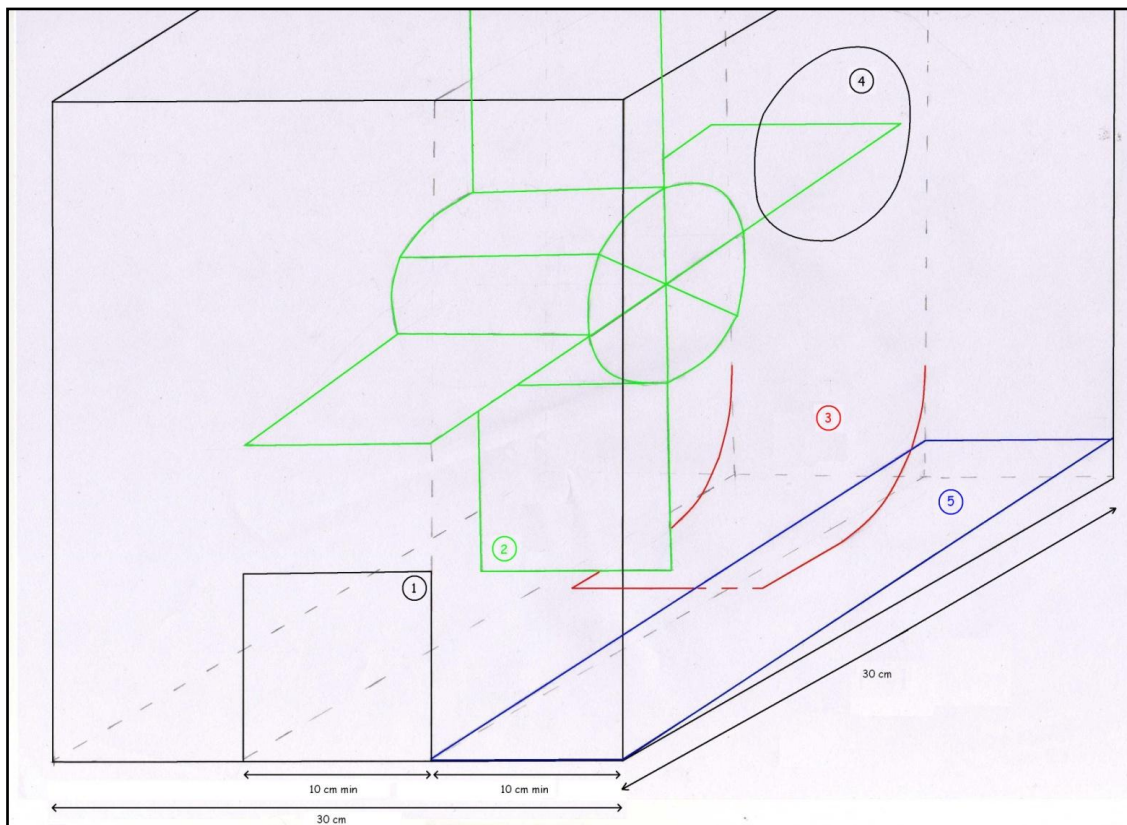


Figure VIII.3 : Vue en perspective de la solution.

Légende :

- Moulin en rotation avec pales inclinées pour facilité le roulement des balles dans le trou amenant à l'endroit de stockage. Le moulin et la zone de stockage étant séparés par une cloison.
- Rampe permettant de guider les tomates/oranges.
- Plan incliné de la zone de stockage facilitant la décharge des éléments ramassés.
- Cycle de ramassage : 1. Entrée de la balle, 2. Le moulin pousse la balle, 3. Arrivée de la balle sur la rampe, 4. La balle arrive au niveau du trou et tombe dans la zone de stockage, 5. La balle qui viens de tomber roule jusqu'à l'avant; le déchargement est simplement effectué par l'ouverture d'une trappe sur la face avant du robot.

Conclusion sur la solution :

Nous avons fait les plans avec une base de taille du robot de 30x30x35 cm (largeur x longueur x hauteur) qui sont des tailles maximum ; le périmètre du robot est donc de 120cm ce qui est le périmètre maximum autorisé par le règlement. Ainsi, il ne reste qu'un tiers du robot pour tout le reste (cartes électroniques, moteurs et stockage des maïs).

Avantages	Inconvénients
– Solution mécanique très simple	– Très coûteux en place

– Peu coûteuse	
----------------	--

Système à chenille et pales

La figure VIII.4 ci-dessous présente le schéma de principe d'une seconde solution mécanique qui nous permet un gain de place considérable par rapport à la solution précédente.

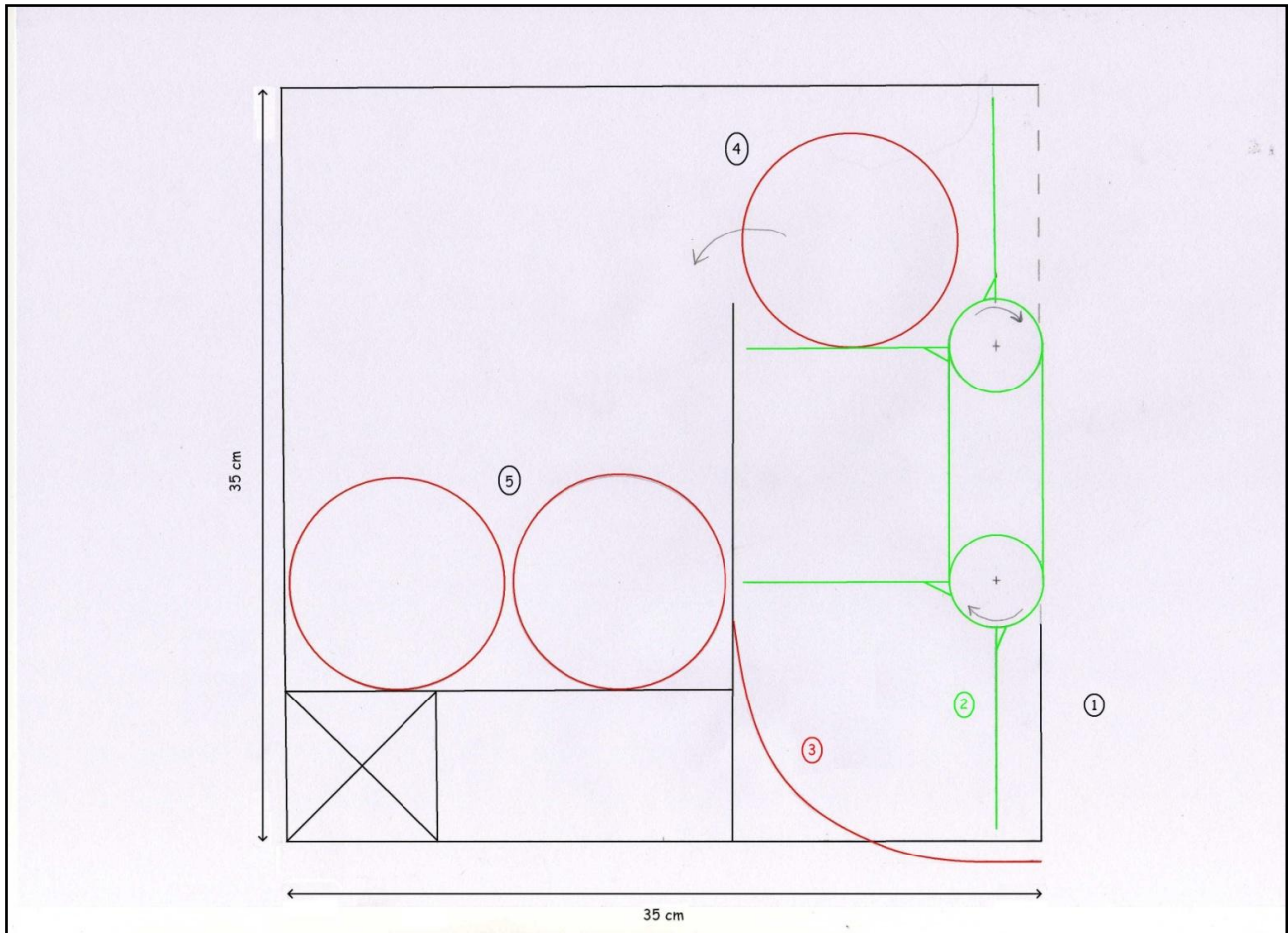


Figure VIII.4 : Vue latérale du robot.

Légende :

- Chenille a pales. Les pales étant légèrement inclinées vers l'arrière afin de faire rouler les éléments vers l'endroit de stockage.
- Rampe permettant de guider les tomates/oranges.
- Cycle de ramassage : 1. Entrée de la balle, 2. La pale pousse la balle, 3. Arrivée de la balle sur la rampe, 4. La balle passe au-dessus de la cloison, 5. La balle tombe dans la zone de stockage.

Remarque : Pour cette solution nous avons fait les plans avec une longueur du robot plus importante ce qui implique une largeur moins élevée. Par exemple : 25x35x35 cm (largeur x longueur x hauteur) pour respecter l'homologation.

Conclusion sur la solution :

Nous avons eu l'idée de cette solution lorsque nous avons lancé nos recherches. En effet, à ce moment là, nous n'avions pas encore reçus les balles de jeu. Bien que pouvant être une solution très efficace comme l'a démontré l'équipe suisse e-robot lors de la coupe de France de robotique en 2004 (cf. figure VIII.5), cette solution n'est pas adaptée a notre situation car les balles sont très accrocheuses.

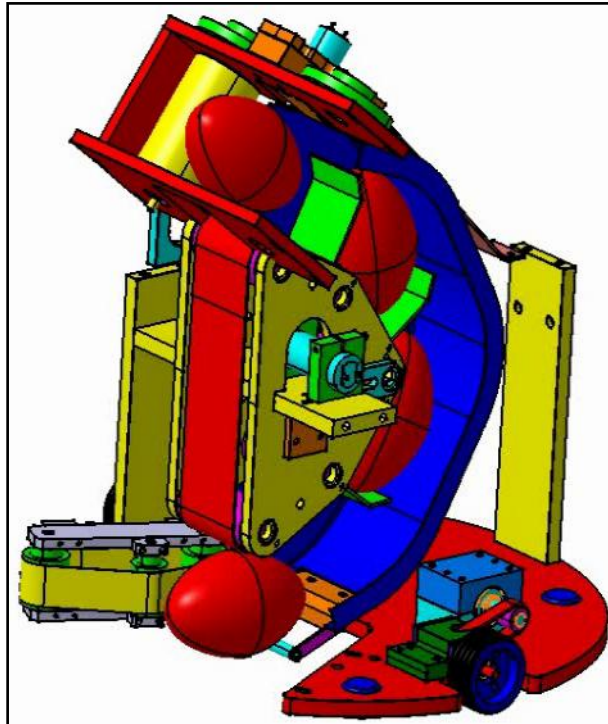


Figure VIII.5 : Vue latérale du robot.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">– Gain de place / solution précédente solution mécanique → Gain de place stockage importante.	<ul style="list-style-type: none">– Complexité mécanique avec la chenille et la fixation des pales sur celle-ci.

Système avec tube et stockage toit

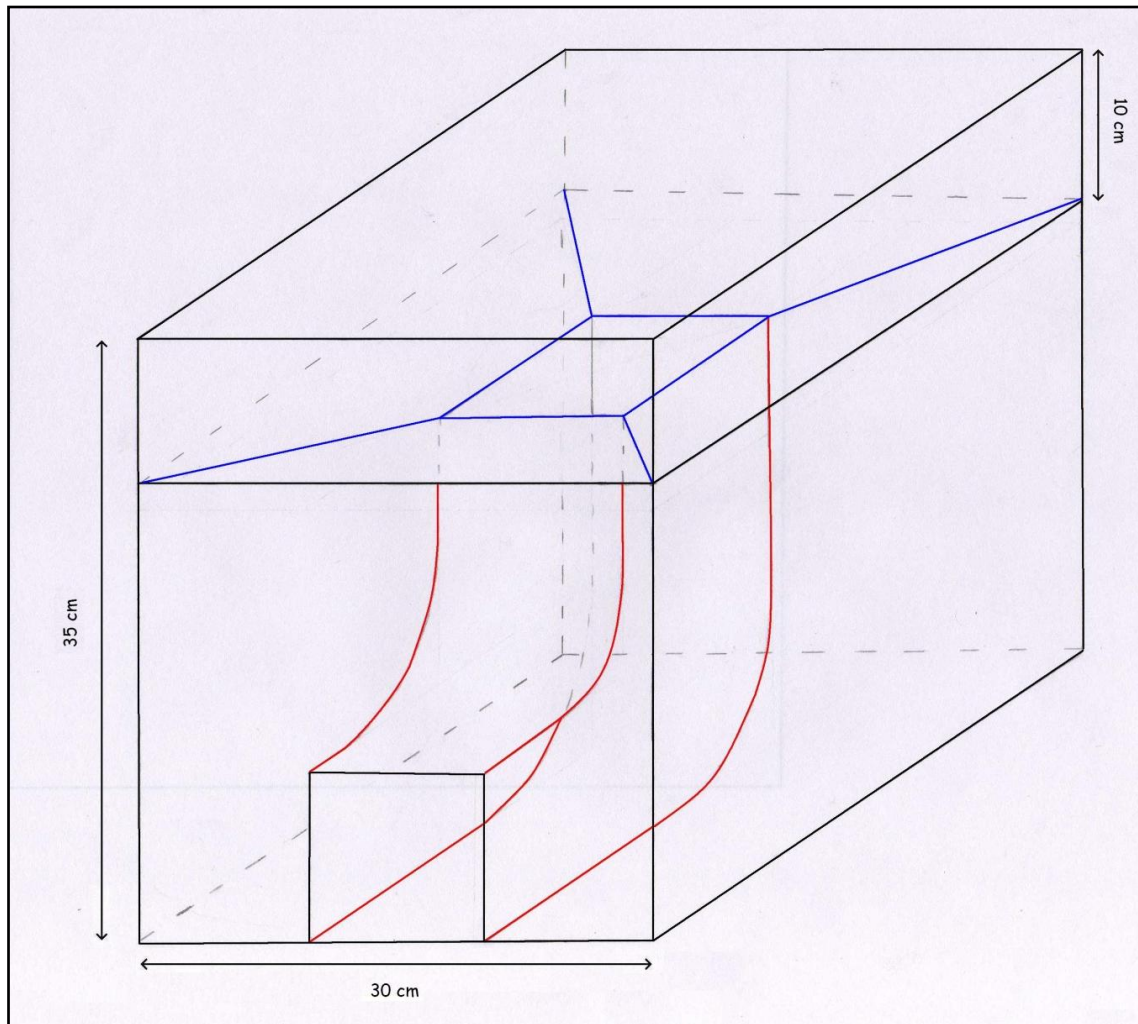


Figure VIII.6 : Vue en perspective du robot.

Légende :

Zone de stockage constituée de plans inclinés pour faciliter le déchargement.

Rampe permettant de guider les tomates/oranges.

Principe : Le robot avance en se guidant par rapport à une tomate qu'il a détectée jusqu'à ce que celle-ci entre par la face avant du robot. Des capteurs nous indiquent alors qu'un élément est présent et la trappe avant se referme afin de garder la balle. Lorsqu'un nouvel élément se présente, un bras mécanique le tiens contre le robot, l'autre trappe s'ouvre, et le bras pousse les deux balles. Ainsi de suite à chaque fois qu'un élément est là.

Conclusion sur la solution :

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">– Déchargement simple	<ul style="list-style-type: none">– Complexité mécanique (→ coût).– Puissance des bras très importante.

Solution retenue : Système à courroies

Cette solution est une variante de la solution avec la chenille. En effet, nous avons choisit de retenir ce système car nous avons reçus les balles officielles (celles qui seront utilisées lors de la coupe) et il s'avère que celles-ci sont extrêmement « accrocheuses ». Pour des raisons mécaniques nous allons réaliser le système grâce a des courroies et a des poulies.

Principe de la récolte :

Tout d'abord, la face avant du robot est constituée de plans inclinés dirigés vers l'entrée du système ce qui va nous permettre de ramener les balles à l'entrée du robot (cf. Figure VIII.7 ci-dessous) :

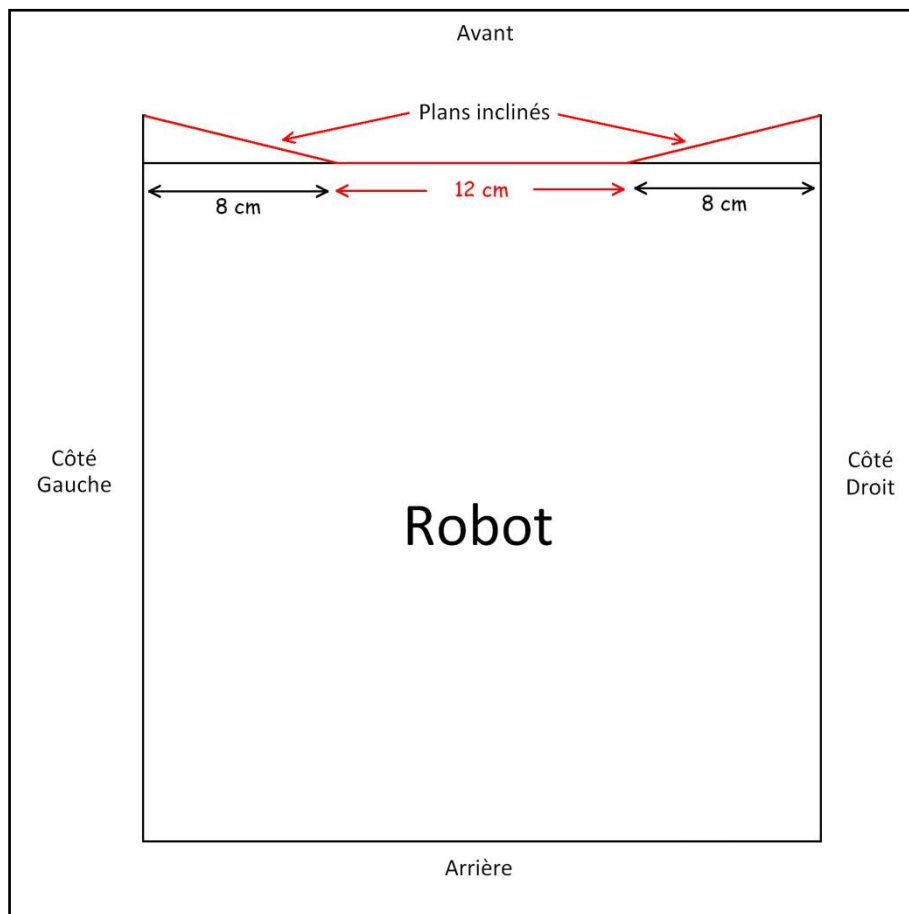


Figure VIII.7 : Vue de dessus du robot.

Nous avons laissé une marge de 2cm sur la largeur de l'entrée par rapport au diamètre des tomates de manière à faciliter l'accès. Ensuite, l'élément de jeu est pris en charge par le système à courroies.

Plans de la solution mécanique :

Dans cette partie, la figure (VIII.8) montre les schémas (qui ont été réalisés à l'échelle) qui vont nous permettre la réalisation de ce mécanisme.

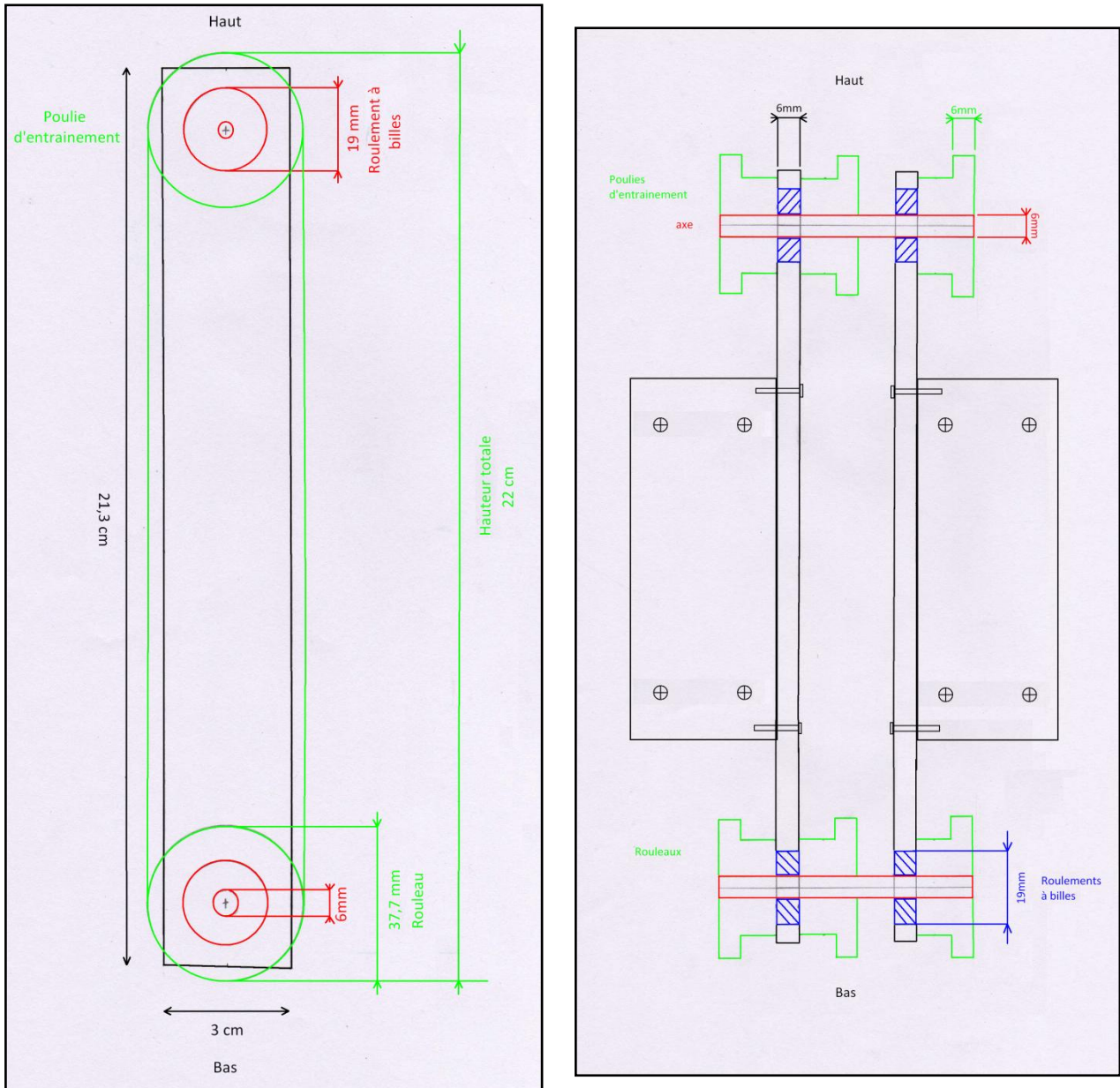


Figure VIII.8 Vue latérale et de face de la solution.

L'axe sur lequel sont fixées les poulies d'entraînement (axe du haut) sera relié à l'arbre du moteur grâce à un coupleur d'axe (voir référence et caractéristiques dans la partie « Commande du matériel » qui suit).

Choix du matériel :

- Courroies :

Nous nous sommes dirigés vers des courroies « crantées » pour avoir une bonne efficacité de transmission. Pour calculer sa longueur, nous avons tout d'abord fait une estimation de la hauteur totale maximale du système (22cm) grâce aux schémas à l'échelle réalisés ci-dessus.

Les poulies faisant 37,7mm de diamètre la longueur de la courroie est de :

$$L = 2\pi r + 2 \times \text{longueur entre axes}$$

$$L = 2\pi \times \left(\frac{37,7\text{mm}}{2}\right) + 2 \times 184\text{mm}$$

$$L = 486,44\text{mm}$$

Après consultation du catalogue Radiospares nous avons trouvé des courroies de 480mm de long. Nous avons alors recalculé l'entre-axe :

$$L = 2\pi r + 2 \times \text{longueur entre axes} = 480\text{mm}$$

$$\text{longueur entre axes} = \frac{480\text{mm} - \pi \times 37,7\text{mm}}{2}$$

$$\text{longueur entre axes} = 180,8\text{mm}$$

- Moteur :

Pour limiter l'encombrement, nous nous sommes fixés une longueur maximale du moteur de 8cm. Ensuite, la rampe faisant environ 20cm de long, nous voulons que la balle ait atteint la zone de stockage avant l'arrivée de la balle suivante. D'après le règlement, deux tomates sont séparées de 50cm. En approximant la vitesse moyenne de déplacement du robot à 25cm/s cela nous fait 2 secondes entre deux balles. La balle possède donc de 2 secondes pour parcourir les 20cm de la rampe. Soit un déplacement à 10cm/s. Nous pouvons à présent calculer la vitesse de rotation du moteur :

$$V_{\text{moteur}} = \frac{V}{2\pi r} = \frac{V}{\pi D}$$

$$V_{\text{moteur}} = 10. \frac{10^{-2}}{\pi \times 37,7. 10^{-3}}$$

$$V_{\text{moteur}} = 0,84 \text{ tr/s} = 50,4 \text{ tr/min}$$

Commande du matériel :

Désignation	Fabricant	Référence	Caractéristiques	Prix
Roulements à billes	Conrad	214469-62	Diamètre Int : 6mm Diamètre Ext : 19mm Largeur : 6mm	3,10€ (x6)
Poulies	Radiospares	744-542	48 dents Diamètre : 37,70mm Pas : 2,5mm Largeur : 6mm	13,93€ (x3)
Moteur réducteurs RB-35	Conrad	227560-62	60 tours/min 180 Ncm 1 :100 Tension : 12 V	14,39€ (x1)
Courroies	Radiospares	474-5167	Pas : 2,5mm Longueur : 480mm Largeur : 6mm	5,16€ (x3)
Coupleur axe	Conrad	183731-62	Diamètre Int : 6mm	1,95€ (x1)
Prix Total				92,21€

Vues d'ensemble :

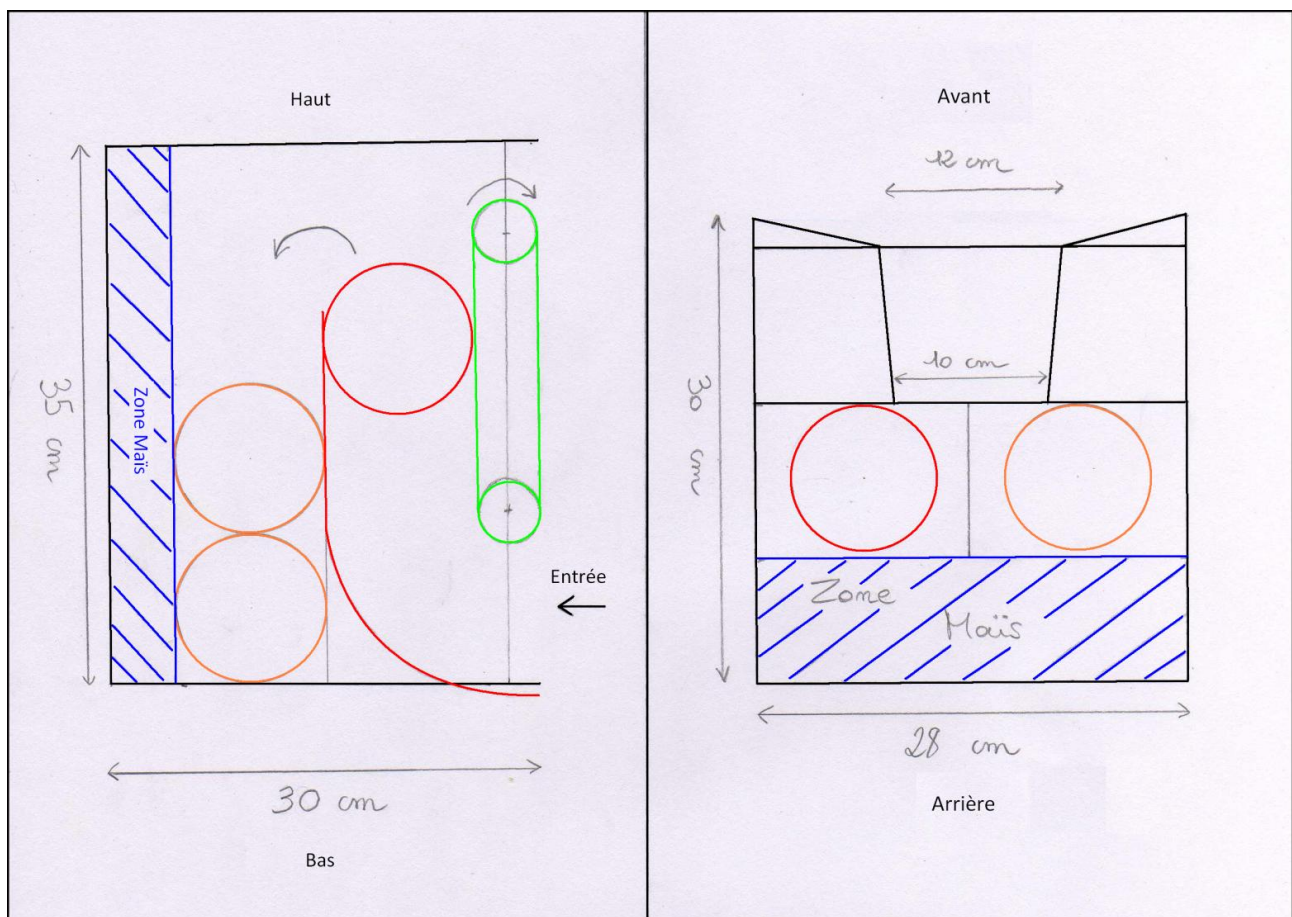


Figure VIII.9 Vue de profil et de dessus du robot.

Le déstockage des oranges et des tomates peut se faire par une ouverture sur un côté du robot avec des plans inclinés en interne pour les faire rouler. Une autre solution est de décharger par l'arrière ce qui nous

permettra de tout décharger dans le bac en une seule manœuvre ; il faut donc trouver un compromis avec le déchargement des maïs.

Conclusion :

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">– Complexité mécanique moyenne– Efficacité 2 types de balles (oranges et tomates).– Système testé et approuvé par d'autres équipes (cf. figure VIII.10 ci-dessous).– Relativement peu coûteuse	<ul style="list-style-type: none">– L'ajustement de la distance courroie/rampe risque d'être délicat.

Le robot en LEGO de l'équipe Brickstory utilise un système très proche de celui-ci et fonctionne parfaitement

(<http://www.youtube.com/user/bichoncby#p/a/u/2/NfUc-636UOQ>) ce qui nous donne un retour d'expérience sur l'efficacité de notre solution mécanique pour le ramassage des tomates.

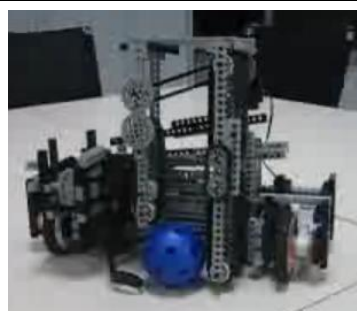


Figure VIII.10 : Robot Brickstory en LEGO.

IX. Ramassage et stockage des oranges

IX.1. Introduction

Dans cette partie nous verrons les différentes techniques afin de récupérer les oranges, l'élément le plus lourd à ramasser.

IX.1. Cahier des charges:

- Forme : Sphérique
- Dimensions : 100 mm de diamètre
- Poids : 300 grammes
- Hauteur variant entre 150 à 250 mm
- Après un plan incliné

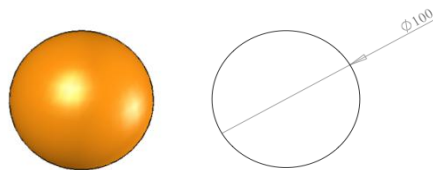


Figure IX.1 : Les oranges

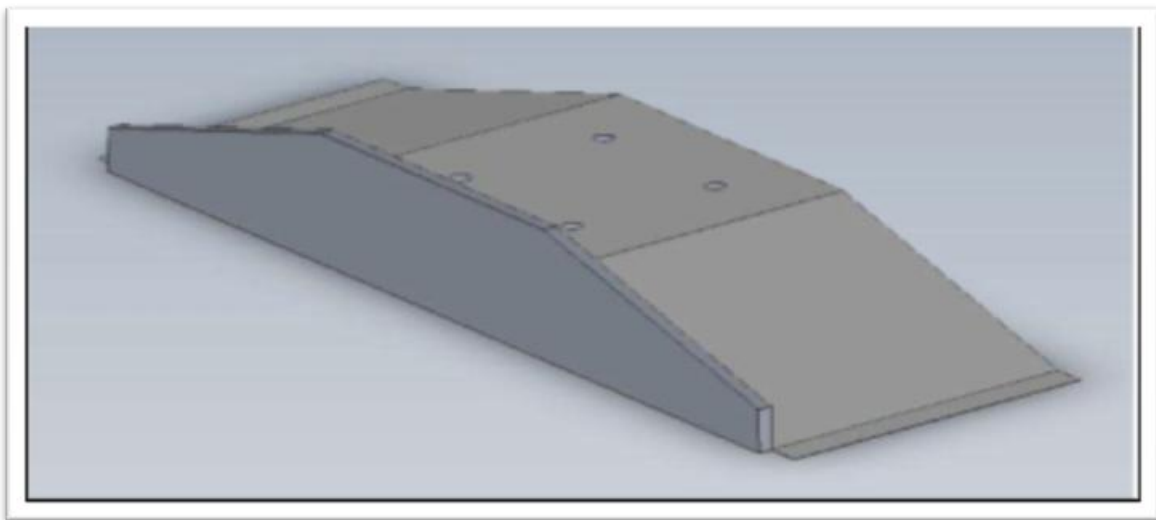


Figure IX.2 : Plan incliné

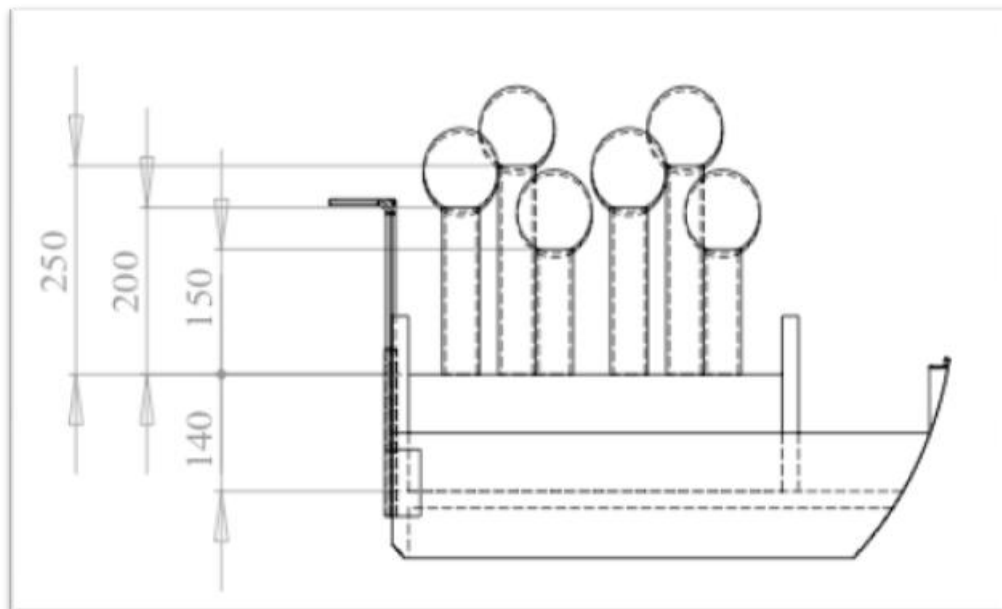


Figure IX.3 : Disposition des oranges (vue de coté)

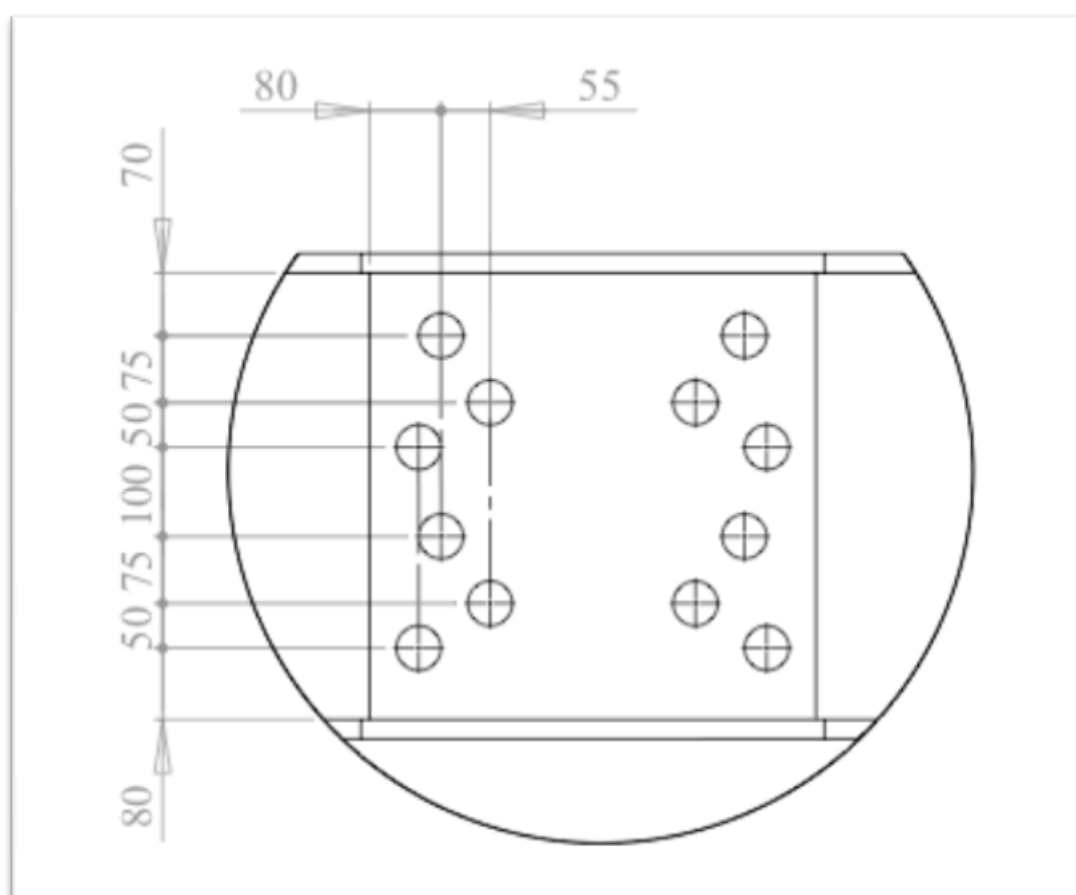


Figure IX.4 : Disposition des oranges (vue de dessus)

IX.2. Les différentes techniques envisagées

A l'aide d'une pince mécanique :

La première idée a été d'utiliser des pinces mécaniques afin de récupérer les oranges. Malgré la disponibilité de « kit » de carte avec pince mécanique disponible dans le commerce, cette solution nous a paru relativement chère et complexe à mettre en place de part la précision nécessaire dans le bras mécanique. De plus, le bras mécanique doit faire une longueur minimale de 80 mm, ce qui signifie que le couple du moteur doit être de :

$$\text{Couple}_{\min} = \text{Force} \times \text{Distance} = 9,81 \times (0,3 + 0,1) \times 80 \times 10^{-3} = 0,31 \text{ N.m}$$

Avec :

$$g = 9,81 \text{ N.Kg}^{-1}$$

$$\text{Masse}_{\text{Total}} = \text{Masse}_{\text{orange}} + \text{Masse}_{\text{bras}} = 0,3 + 0,15 = 0,45 \text{ Kg}$$

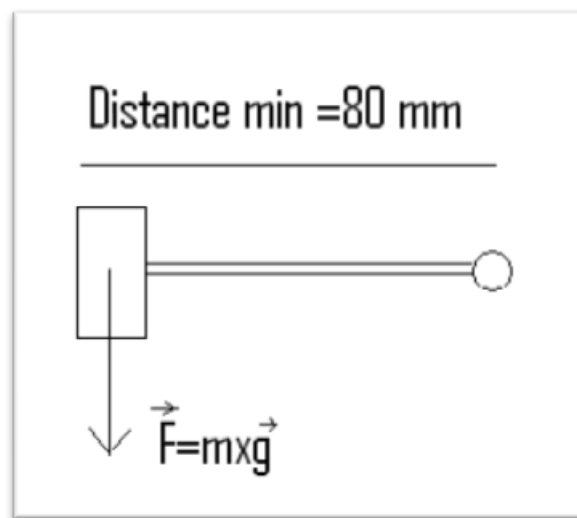


Figure IX.5 : Schéma des Forces exercés

Pour cette raison, le choix des servomoteurs est peu recommandable car le couple est relativement important. Nous devrions donc choisir des moteurs mais dans ce cas là nous allons avoir une plus grande difficulté à les manœuvrer et il est nécessaire d'avoir une grande précision. De plus, cette technique ne nous permet pas de ramasser les oranges rapidement, c'est pour cela que nous avons décidé de pas l'utiliser.

En faisant rouler les balles sur 2 barres métalliques :

Une autre solution envisagée fut celle utilisant des cylindres actionner par un moteur pour permettre de soulever légèrement l'orange et ensuite la faire rouler jusqu'au robot. Ensuite 2 solution s'offre a nous : la première est de faire tomber l'orange devant le robot et de la ramasser en utilisant le système de ramassage des tomates comme décrit précédemment ou en faisant rouler l'orange directement dans le robot.

Le principe est assez simple grâce a un moteur (Moteur 1) on décale les 2 barres métalliques sur l'axe horizontale nous permettant de nous placer face a une orange a l'aide d'un capteur.

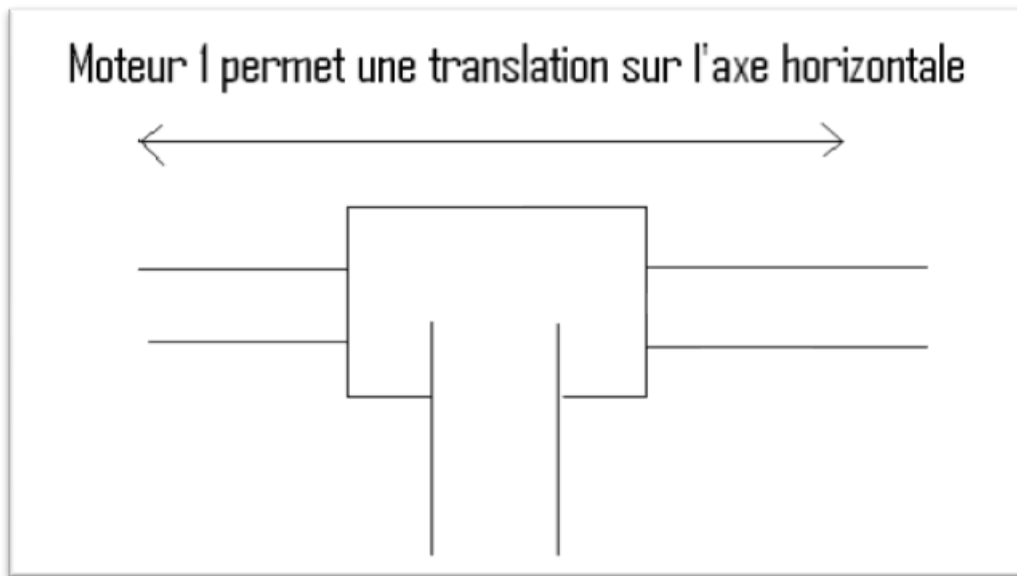


Figure IX.6 : Moteur 1

Ensuite, on resserre les 2 barres métalliques à l'aide du moteur 2.

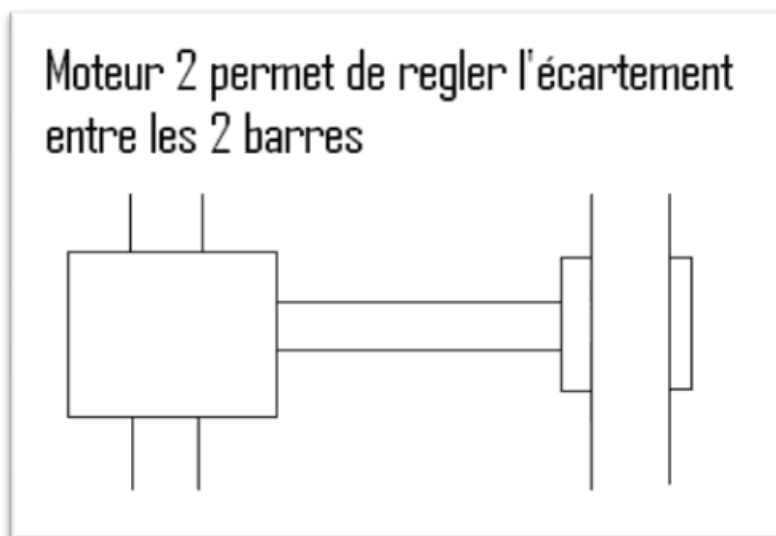


Figure IX.7 : Moteur 2

Pour finir, on relève les barres avec un troisième moteur (Moteur 3) pour permettre aux oranges de glisser.

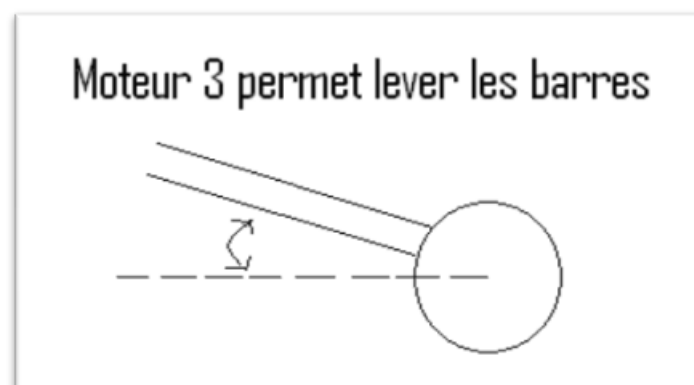


Figure IX.8 : Moteur 3

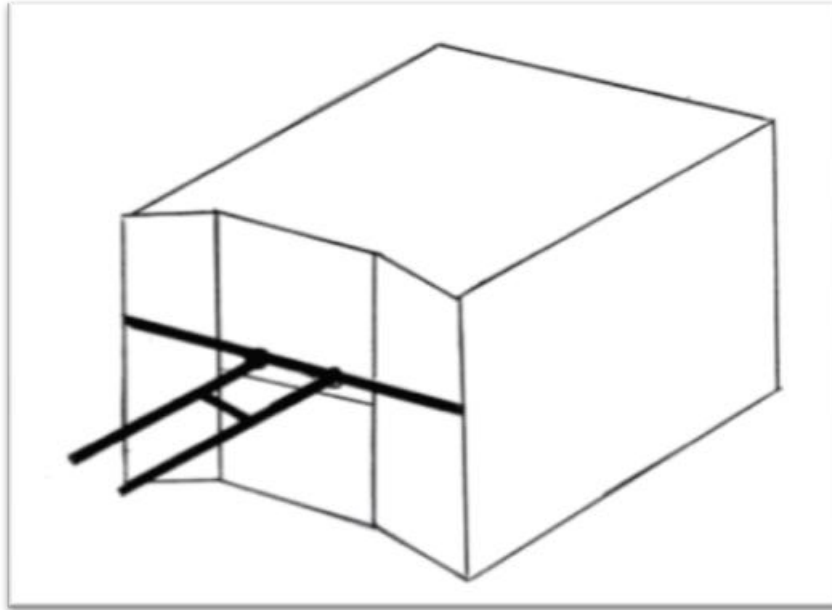


Figure IX.9 : Croquis du robot

Après le choix de faire tomber les oranges directement dans le robot ou devant et de les ramasser comme des tomates est un problème d'encombrement et également si le système des tomates est aussi capable de soulever des oranges qui font tout de même 200g de plus.

Pour permettre de faire tomber les oranges devant le robot une méthode assez simple est de donner une forme comme celle de la figure 10 aux 2 barres métalliques.

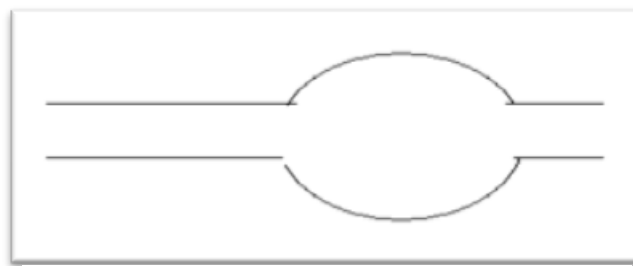


Figure IX.10 : Barres métalliques

A l'aide d'une ventouse :

La solution finalement choisie est basée sur le principe de ventouse. C'est à dire en utilisant des pompes à vide et des ventouses avec un bras.



Figure IX.11 : Générateur de vide



Figure IX.12 : Ventouse

Notre stratégie pour les oranges consiste à récupérer les 3 oranges les plus près du plan incliné et à l'opposé du bord de la table. Pour cela, il faut un positionnement irréprochable et un système d'aspiration capable de maintenir les oranges à l'extrémité du bras juste 1 ou 2 secondes pour reculer le robot et de faire tomber les oranges devant le robot et de les ramasser comme des tomates. Du fait de la présence du plan incliné et de la forme du robot (forme en V), les oranges vont d'elles mêmes aller vers le récupérateur de tomates/oranges.

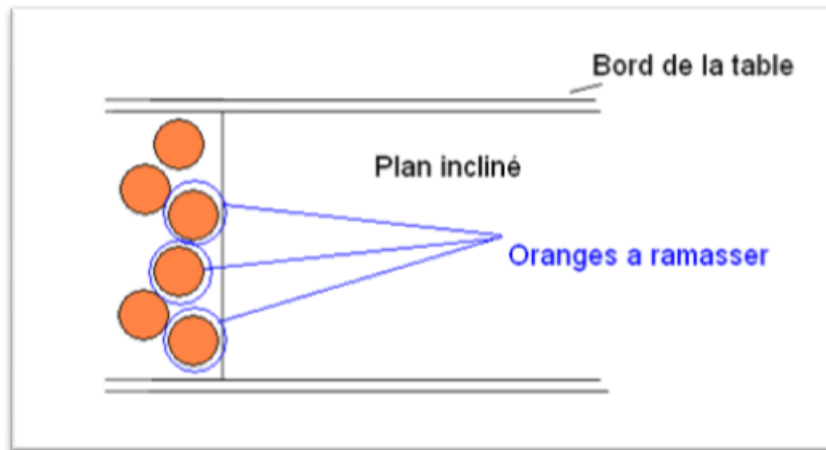


Figure IX.13 : Position des oranges à ramasser

On a choisi de ramasser ces oranges car pour positionner le robot le fait de capter le bord de la table est plus simple et aussi car le bras du robot doit être le plus petit possible donc on ne va pas récupérer l'orange de derrière.

Calcul de force de maintien :

Il faut estimer la force nécessaire pour aspirer l'orange. La force dépend de la ventouse utilisée car la surface en contact avec l'orange varie. La surface en contact avec l'orange dépend de la taille de la ventouse, on estime à 20 mm de diamètre la taille de la ventouse nécessaire pour récupérer une orange de 100 mm de diamètre.

Sachant que la force de maintien d'une ventouse est égale au produit de la surface de la ventouse par la dépression en aspiration de la pompe et que 1 Bar soit 100 kilo pascals correspond à peu près à la pression atmosphérique moyenne à la surface de la Terre. Cette pression correspond donc à une force de 10 N exercée sur une surface de 1 cm^2 soit encore 1000 mm^2 .

$$\text{Force} = 10 \times \text{Surface} \times \text{Dépression}$$

$$\text{Surface} = \pi \times R^2 = \pi \times 1^2 = 3,14 \text{ cm}^2$$

Ce qui nous donne une force de :

$$\text{Force} = 10 \times 3,14 \times 0,2 \text{ bar} = 6,28 \text{ N}$$

Soit à peu près une force capable de soutenir 0,628 Kg.

Le choix d'une telle ventouse est d'une telle pompe à vide est correct car même si le poids dont la pompe est capable de soulever est le double, il ne faut pas oublier que ceci est en théorie. Or en pratique la ventouse n'est jamais complètement en contact avec l'orange et donc il faut une plus grande force pour aspirer l'orange.

Position du bras et de la ventouse sur le robot

Dans cette partie, nous allons déterminer la hauteur h_4 , position du bras sur l'axe verticale.

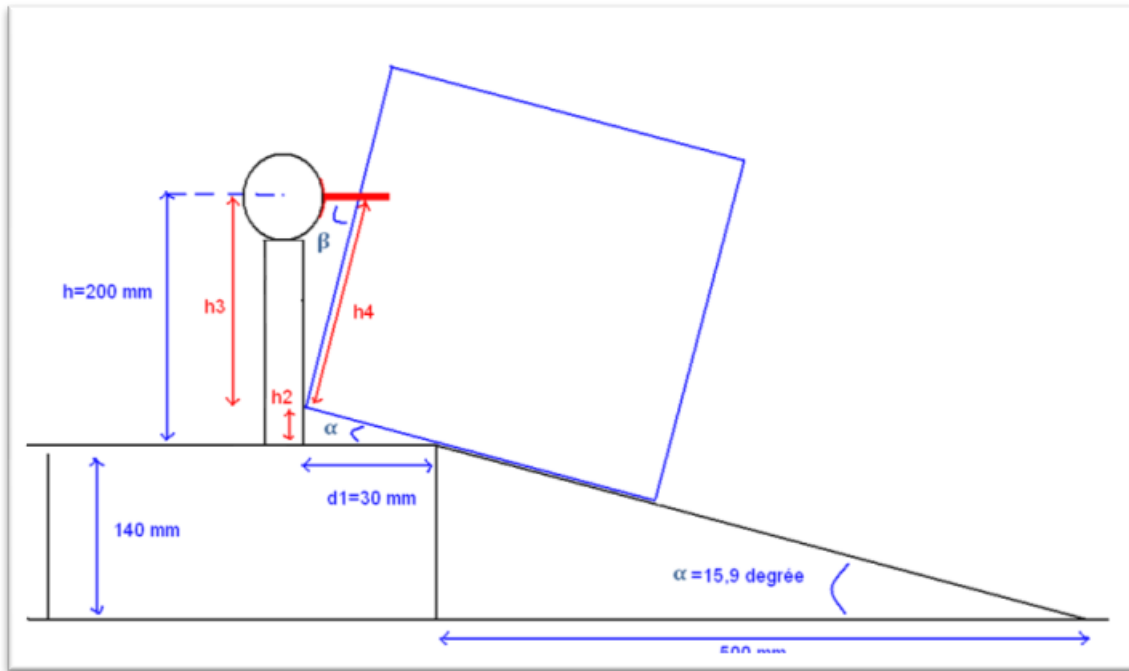


Figure IX.14 : Position des ventouses

Pour cela, on commence par déterminer la hauteur h_3 :

$$h_2 = \tan \alpha \times d_1 = \tan 15,9 \times 30 = 8,55 \text{ mm}$$

On obtient :

$$h_3 = h - h_2 = 200 - 8,55 = 191,45 \text{ mm}$$

De plus on sait que :

$$\beta = 90^\circ - \alpha = 90 - 15,9 = 74,1^\circ$$

Finalement on obtient :

$$h_4 = \frac{h_3}{\sin \beta} = \frac{191,4}{\sin 74,1} = 199 \text{ mm}$$

Le bras aura une longueur :

$$l = \frac{h_3}{\tan \beta} + \text{Rayon}_{\text{arbre}} - \text{Rayon}_{\text{orange}} = \frac{191,45}{\tan 74,1} + 25 - 50 = 29,53 \text{ mm}$$

Les 2 oranges les plus près du plan incliné sont écartés d'une longueur de 225 mm. Le robot faisant 280 mm de largeur, il n'y a pas de problème.

Pour la position de la dernière ventouse, le calcul est le même :

$$h_6 = \frac{h_5}{\sin \beta} = \frac{h - h_2}{\sin \beta} = \frac{250 - 8,55}{\sin 74,1} = 251,05 \text{ mm} \approx 251 \text{ mm}$$

Et la longueur du bras est de :

$$l = \frac{h_5}{\tan \beta} + d_3 + \text{Rayon}_{\text{arbre}} - \text{Rayon}_{\text{orange}} = \frac{241,45}{\tan 74,1} + 25 + 25 - 50 = 68,77 \text{ mm}$$

Où d_3 est la distance entre les 2 arbres entre axes.

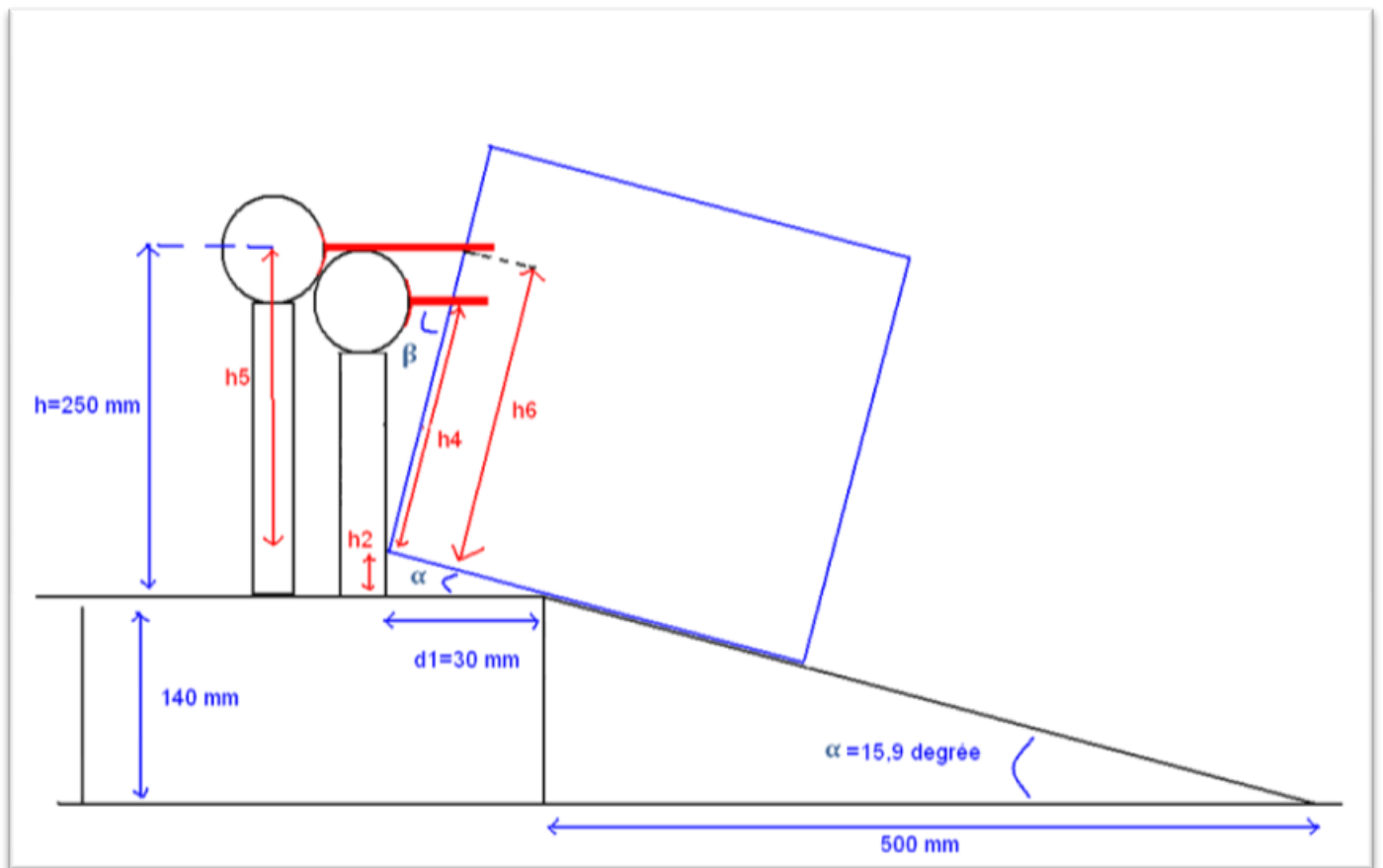


Figure IX.15 : Position de la troisième ventouse

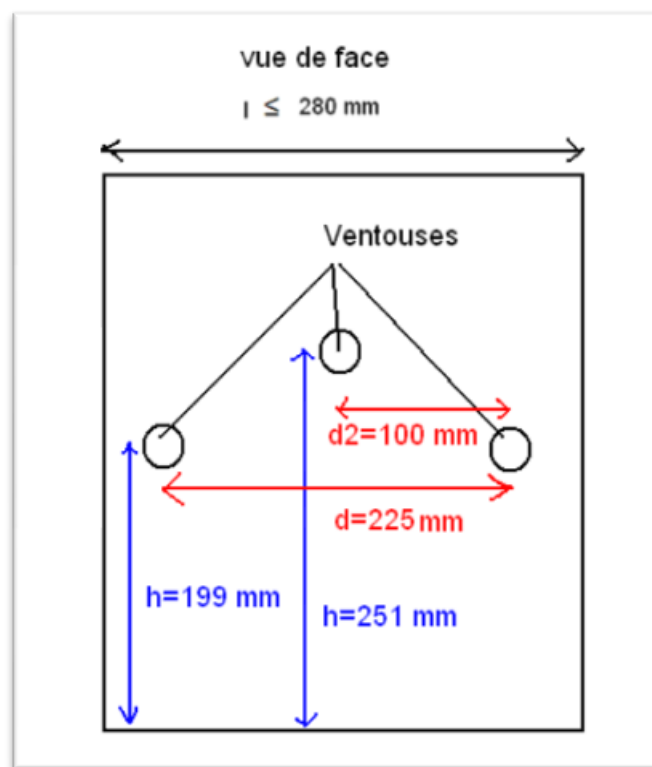


Figure IX.16 : Position des ventouses sur le robot

Couts estimé :

L'ensemble des 3 générateur de vide, les 3 ventouses et les tuyaux sont estimer a un prix de 100 à 150 euros maximum.

X. Ramassage et stockage des maïs

X.1. Introduction

Il y a deux types de maïs :

- des maïs blancs de 250g dont les dimensions sont données ci-dessous que l'on doit collecter.
- des maïs noirs de mêmes dimensions que les maïs blancs qui sont fixés sur la table de jeu et donc que l'on ne doit pas toucher.

Il est important de noter que les maïs blancs ne sont pas juste posés sur la table. En effet, les cylindres ont des petits « picots » ce qui permet aux maïs d'être placés dans des trous. Ceci nous empêche donc de pouvoir bouger les cylindres en les poussant par la base.

Les maïs blancs :

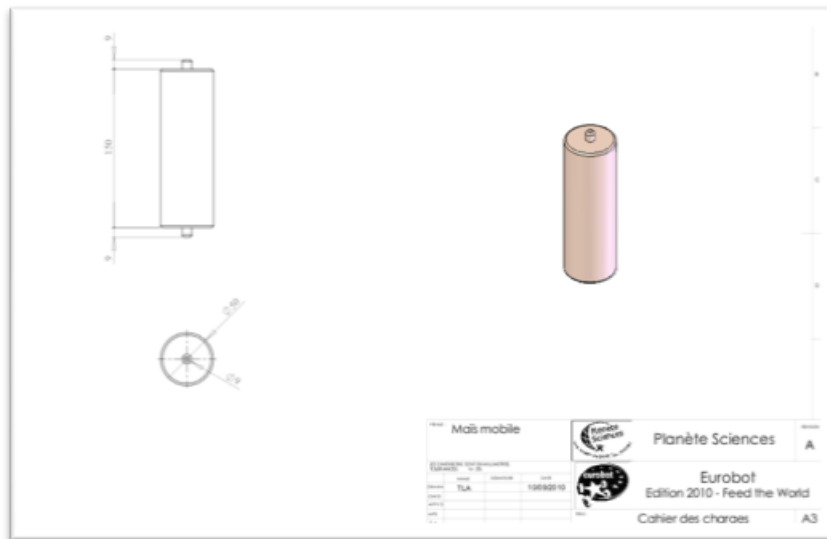


Figure X.1 : Dimensions des maïs blancs

Les maïs noirs :

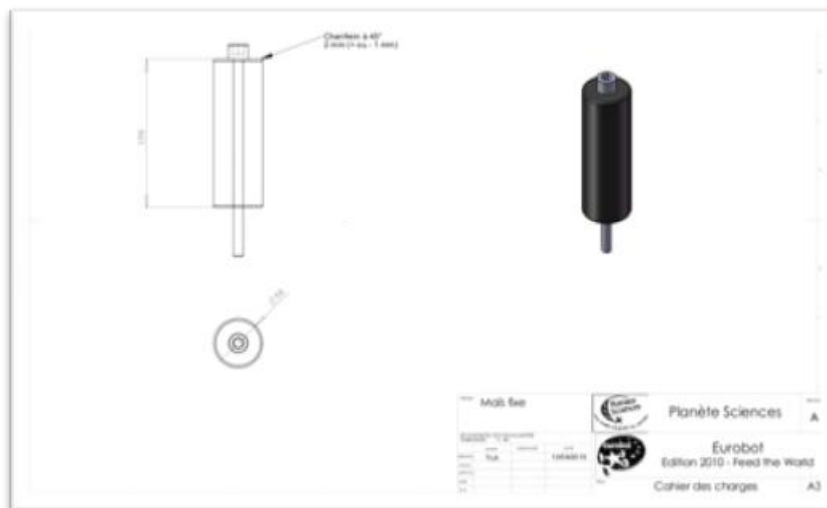


Figure X.2 : Dimensions des maïs noirs

Problématiques :

- La taille des maïs : en effet, les maïs ont des tailles très importantes ce qui ne facilite pas le ramassage et le stockage.
- La disposition des maïs fixes n'est pas connue; on ne peut donc pas définir par avance les maïs à ramasser. On doit identifier les maïs.

Procédure :

- Identifier que le maïs soit un maïs mobile, c'est à dire un maïs « blanc »
- Ramasser ce maïs
- Stocker le maïs
- Déverser facilement le maïs dans le bac

Par le passé, il n'y a pas eu de concours de robotique où l'on devait collecter des objets cylindriques. Nous n'allons donc pas pouvoir lister les différentes solutions déjà existantes. Il va donc falloir que nous innovions en proposant des solutions les plus faciles à mettre en œuvre et les plus efficaces.

Le fait qu'il n'y ait pas de solutions utilisées précédemment est intéressant car toutes les équipes vont devoir inventer un système ce qui laisse place à l'imagination.

X.2. Les pinces

Dans les solutions que nous allons développer pour ramasser les maïs, nous allons avoir besoin de pince de préhension, c'est pourquoi nous allons présenter les différentes pinces qu'il existe. Pour commencer il faut savoir qu'il existe des pinces de préhension à commande pneumatique et des pinces de préhension à commande électrique. Dans notre cas, seules les pinces à commande électrique nous intéressent.

Les pinces de préhension angulaires :



Figure X.3 : pince de préhension angulaire

Les pinces de préhension angulaire sont des pinces dont les doigts ont un axe de rotation. Les doigts de cette pince ont donc une trajectoire circulaire lorsque l'on ouvre ou lorsque l'on ferme la pince.

Les pinces de préhension parallèles :

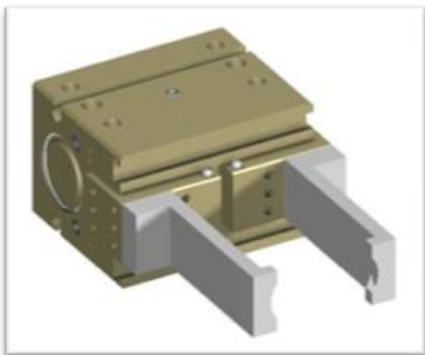


Figure X.4 : Pince de préhension parallèle

Les pinces de préhension parallèle ont quant à elles les doigts qui se déplacent de manière linéaire. Les deux doigts de la pince sont parallèles que la pince soit ouverte ou fermée.

Il existe aussi les pinces concentriques mais celles-ci ne nous intéressent pas dans le cadre de notre projet.

Les pinces qui sont représentées sur les figures 3 et 4 sont des pinces qui existent dans le commerce et pas personnalisable. Il est souvent intéressant de fabriquer sa propre pince afin de la personnaliser pour qu'elle réponde complètement au cahier des charges. De plus, ceci est plus économique.

X.3. Identifier les maïs

Ils existent plusieurs solutions pour identifier les maïs. Comme on l'a présenté précédemment il y a 2 couleurs de maïs. Nous avons imaginé 2 moyens pour connaître la couleur du maïs et donc savoir si nous pouvons le ramasser ou pas. La solution que nous allons choisir pour identifier les maïs va forcément dépendre de comment nous allons les ramasser. Il est possible que notre système nous permettant de nous repérer sur la table nous permette d'identifier les maïs.

Solution n°1 : caméra

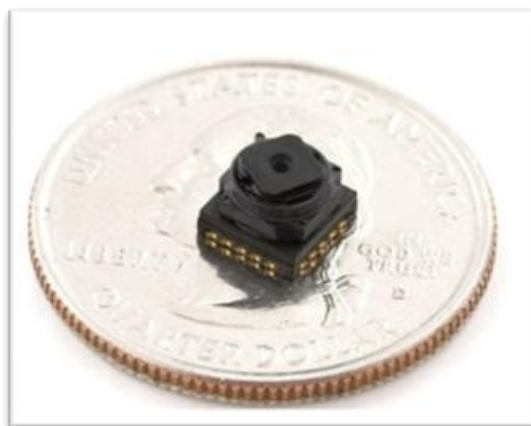


Figure X.5 : mini caméra cmos

On peut utiliser une ou plusieurs petites caméras. On récupère les données, puis, en faisant du traitement d'image, on peut connaître la couleur du maïs.

Le schéma ci-dessous montre la façon dont nous pourrions utiliser les caméras afin de connaître la couleur des maïs.

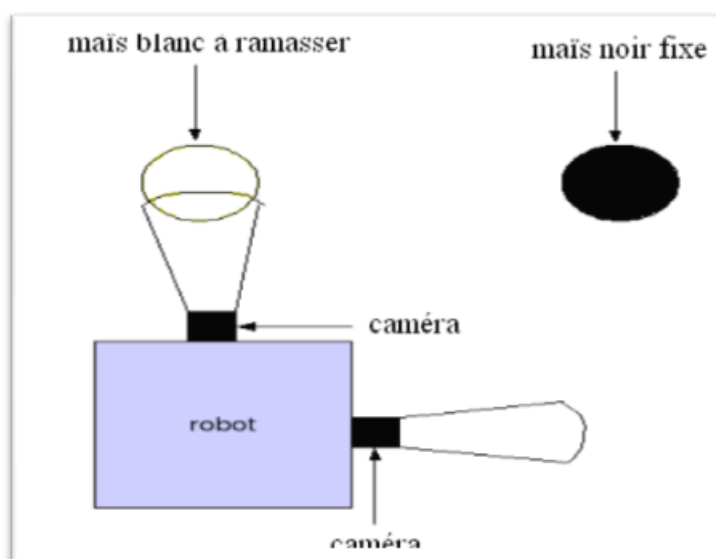


Figure X.6 : robot vu de dessus

La disposition des cameras va dépendre de la solution que l'on choisira pour le ramassage. En effet, si nous ramassons les maïs par l'avant du robot il faut bien entendu mettre les cameras à l'avant.

Le fonctionnement des caméras sera expliqué dans la partie concernant le repérage sur la table. Le traitement d'image sera aussi expliqué dans cette partie.

Avantages et Inconvénients des cameras :

Avantages :

- Longue portée de détection
- Solution fiable

Inconvénients :

- Complicé à mettre en œuvre notamment le traitement d'image
- Technologie qui nécessite un montage de surface (CMS).

Pour résumer, cette solution est techniquement bonne mais sans doute trop complexe si le but est seulement de différencier des maïs blancs et des maïs noirs. Cette solution est donc envisageable dans le cas où nous choisissons des caméras pour nous repérer sur la table.

Solution n°2 : capteur infrarouge et capteur de couleur



Figure X.8 : Capteur de réflexion infrarouge



Figure X.7 : Capteur de lumière et couleur

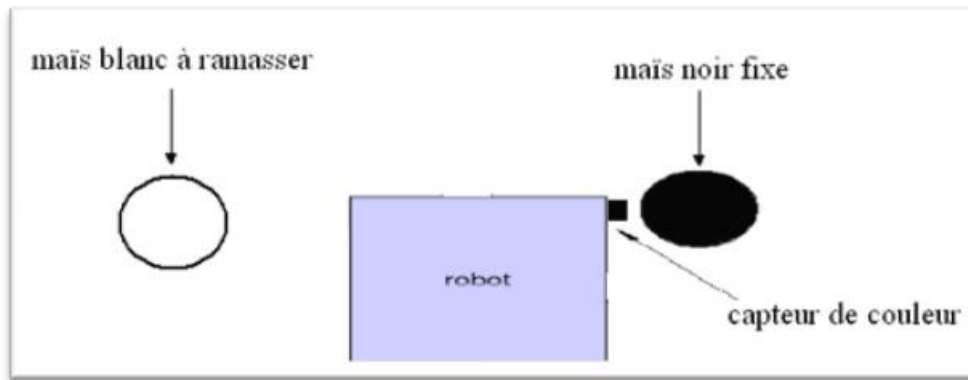


Figure X.9 : robot vu de dessus avec le système du capteur de couleur

Capteur de réflexion :

Les capteurs de réflexion ne sont pas à proprement parlé des capteurs qui servent à déterminer la couleur d'un objet. Néanmoins, ils peuvent permettre de faire la différence entre un objet qui réfléchit bien la lumière et un objet qui ne la réfléchit pas bien. Dans notre cas, on a des maïs noirs qui du fait de leur couleur vont mal réfléchir la lumière et des maïs blancs qui devraient bien la réfléchir. Cette solution semble convenir pour identifier les maïs mais il y a une chose dont nous devons faire attention. En effet, il est possible qu'un maïs noir situé à 2 millimètres du capteur renvoie plus de lumière à celui-ci qu'un maïs blanc situé à 4 centimètres du capteur. Il faut donc afin que cette solution soit pertinente que l'on ait un système de repérage sur la table fiable et précis. La solution idéale serait que l'on puisse positionner le capteur de réflexion toujours à la même distance du maïs lors de la phase d'identification. Ceci permettrait donc de régler un seuil de réflexion ; au delà de ce seuil le maïs sera considéré comme blanc, en deçà de ce seuil le maïs sera considéré comme noir.

Avantages et inconvénients des capteurs de réflexion infrarouge :

Avantages :

- Prix
- Facile à mettre en œuvre

Inconvénients :

- Demande une grande précision de repérage et de déplacement du robot
- Fiabilité

Capteur de couleur :

Les capteurs de couleur et de lumière correspondent tout à fait à ce que nous recherchons. Ces capteurs sont faits pour déterminer la couleur d'un objet. Il est intéressant de comprendre le fonctionnement de ces capteurs : l'objet dont on veut déterminer la couleur va être éclairé avec une led de couleur bleue puis une led de couleur rouge et enfin une led de couleur verte. A chaque fois, le capteur va enregistrer le spectre de réflexion. Grâce aux trois spectres, le capteur est capable d'identifier la couleur de l'objet.

Avantages et inconvénients des capteurs de couleur :

Avantage :

- Fiabilité

Inconvénient :

- Demande une grande précision de repérage et de déplacement du robot

Il est important de noter que pour ce qui est du capteur de couleur ou du capteur de réflexion leur seul but est de donner la couleur de l'objet. Dans le cas où l'on va les utiliser, ces capteurs ne vont pas nous permettre de jouer un bon rôle de détecteur. Il est donc impératif d'avoir un autre système de détection ou plus vraisemblablement un bon système de repérage. En effet, les maïs ont des emplacements qui sont connus; si on sait de manière précise où notre robot se situe sur la table, on connaît la distance qui nous sépare des différents maïs. Il nous suffira de nous placer de telle façon que notre détecteur de couleur ou de réflexion soit efficace.

X.4. Ramasser les maïs

Nous avons imaginé plusieurs solutions pour ramasser les maïs. Chacune de ces solutions ont des avantages et des inconvénients. Nous détaillerons les solutions qui nous semblent être les meilleures. Notre stratégie est un critère de sélection d'une solution. En effet, certaines solutions peuvent ne pas être compatibles avec notre stratégie.

Solution n°1 :

Les maïs ont des dimensions qui ne facilitent pas le stockage. Nous avons donc réfléchi à une solution qui nous permettrait de ne pas stocker les maïs. En effet, nous pouvons transporter les maïs sans les mettre à l'intérieur du robot. Pour cela nous avons pensé à 2 pinces de préhensions parallèles qui seraient situées à l'avant du robot. On aurait la possibilité de transporter les maïs deux par deux comme le montre le schéma vue de dessus du robot ci dessous :

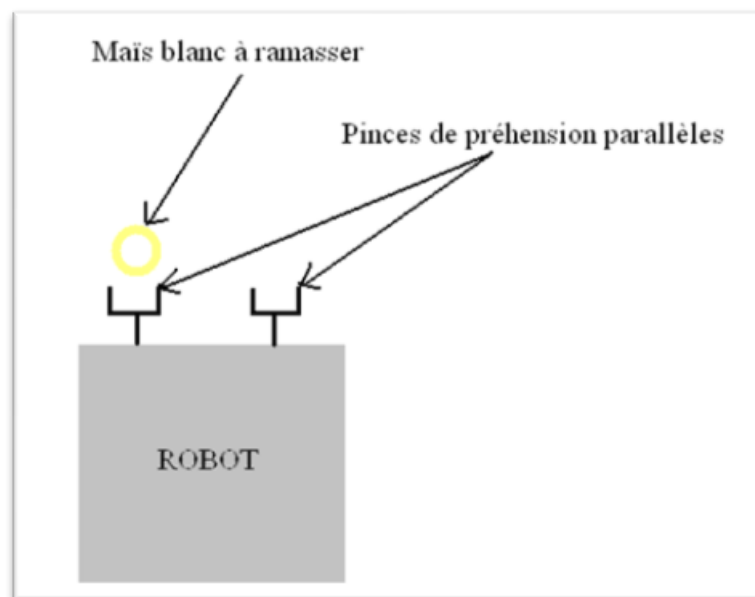


Figure X.10 : Robot équipé avec 2 pinces

Cette solution implique dans le cas où l'on veut ramasser plus de 2 maïs que l'on doit aller plusieurs fois au bac afin de libérer nos pinces.

Pour cette solution nous avons besoin en plus des pinces, d'un système qui va nous permettre de lever les pinces pour que les maïs ne touchent plus le sol. Le plus simple serait d'avoir un bras commandable permettant de lever la pince. Ceci est assez simple à mettre en œuvre à l'aide d'un servomoteur. En plus de ça, il faut bien sûr que l'on ait des capteurs fixés sur les pinces qui nous informent si nous sommes bien alignés. Enfin, il faudrait que l'on puisse déplacer les pinces le long du robot. Cela permettrait d'ajuster la pince à hauteur du maïs au lieu de faire faire un déplacement latéral au robot. Pour pouvoir bouger les pinces horizontalement (sur le dessin) nous pouvons utiliser une crémaillère couplée avec un servomoteur.



Figure X.12 : Crémaillère



Figure X.11 : servomoteur

Cette solution permet aussi de décharger les maïs très simplement ; il suffit de mettre les pinces au dessus du bac de rangement et de lâcher les maïs.

Avantages et Inconvénients la solution avec 2 pinces de préhension sans stockage :

Avantages :

- Pas besoin de stocker les maïs ce qui libère une place importante
- Demande peu de matériel
- Solution fiable

Inconvénients :

- Ne correspond pas à notre stratégie
- Demande plusieurs pinces

Cette solution est intéressante mais elle n'est pas compatible avec notre stratégie. En effet, nous avons prévu de ramasser les maïs par plus que deux par deux. Nous avons choisi de ramasser les maïs selon une ligne; il faudrait donc que les pinces soient sur les côtés du robot et non à l'avant. De plus, selon le côté ou l'on commence, les maïs que nous avons choisi de prendre dans la stratégie sont soit à droite soit à gauche. Il faudrait alors 2 pinces de chaque cotés sachant que 2 seront inutiles. Enfin, cela ferai un périmètre déployé important ; sachant que nous sommes limité à 140 cm.

Solution n°2 :

Cette solution consiste à faire tomber les épis de maïs sur le flan, puis les ramasser, et enfin de les charger. La problématique reste la même que tout à l'heure, à savoir que nous devons ramasser les maïs des deux cotés du robot; nous devons donc faire ce système sur les flans du robot.

Le schéma de principe ci-dessous montre comment nous voulons procéder. Nous n'avons mis le bras que d'un seul côté sur ce schéma par soucis de simplicité.

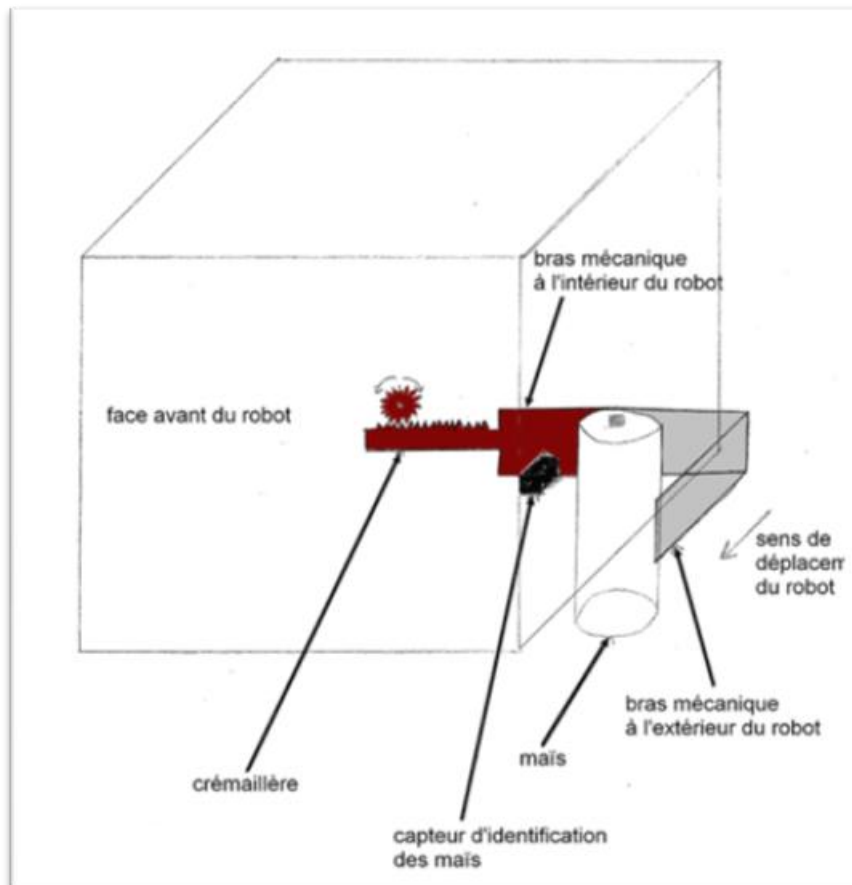


Figure X.13 : schéma de principe de la solution n°2

Avec le schéma de la figure 13 nous voyons qu'en avançant le robot va faire tomber le maïs. Puis, avec le système de crémaillère, le bras va plaquer le maïs sur le coté du robot.

Après ça, il faut ramasser les maïs qui sont couché sur le bord de notre robot. Nous avons choisi un système de tapis roulant qui va nous permettre d'une part de ramasser les maïs mais aussi d'autre part de les acheminer vers leur espace de stockage.

Le schéma ci-dessous nous montre ce système de tapis roulant. Il faut imaginer le robot de face.

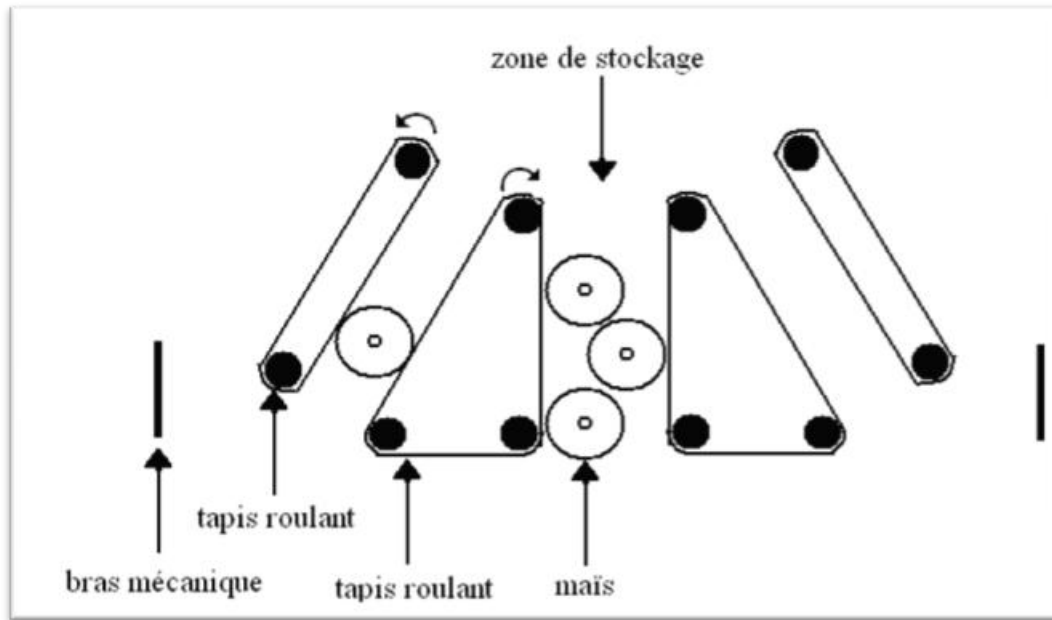


Figure X.14 : système des tapis roulants

Il est intéressant de voir que l'on peut laisser dépasser une partie des maïs à l'extérieur du robot. Ceci permet de gagner un peu de place et facilite le déchargement.

Une fois stockés, il faut prévoir de décharger ces maïs lorsque l'on sera devant le bac. Pour cela, on peut ou incliner le support sur lequel reposent les maïs, ou utiliser un système qui va pousser les maïs. Dans les deux cas nous allons avoir besoin d'un moteur dont le couple est important car nous devons prévoir de pouvoir décharger quatre maïs soit un poids de un kilogramme.

Avantages et inconvénients de cette solution :

Avantages :

- Solution intéressante techniquement
- Correspond à notre stratégie

Inconvénients :

- Demande énormément de matériel
- Prix élevé
- Demande une place très importante à l'intérieur du robot

Solution n°3 :

Nous avons développés cette solution dans le but de réduire le plus possible la place que va prendre le système pour ramasser les maïs tout en ayant la capacité de pouvoir charger quatre maïs. Pour cela il nous faut un système qui puisse prendre les maïs de chaque coté du robot. Nous avons donc pensé à un bras équipé d'une pince de préhension. Ce bras sera à l'intérieur robot et pourra soit sortir à droite soit sortir à gauche. Nous avons choisi une pince de préhension angulaire à 3 doigts. En effet, ce type de pince permet d'avoir les 3 points de contact dans toutes les conditions.

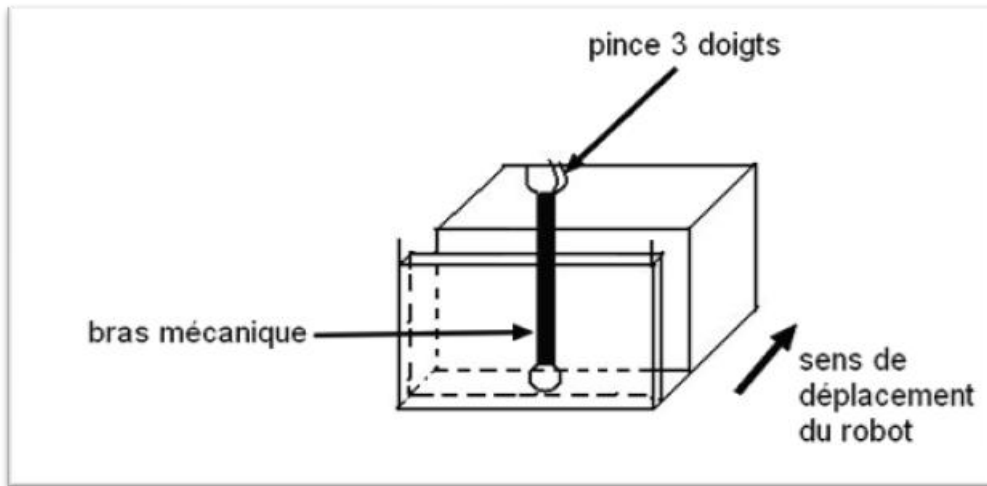


Figure X.15 : Schéma du robot avec la solution n°3

Si on détecte un maïs que l'on doit ramasser le bras se déplace comme le montre le schéma de la figure 16. Nous ouvrons la pince afin de pouvoir prendre le maïs.

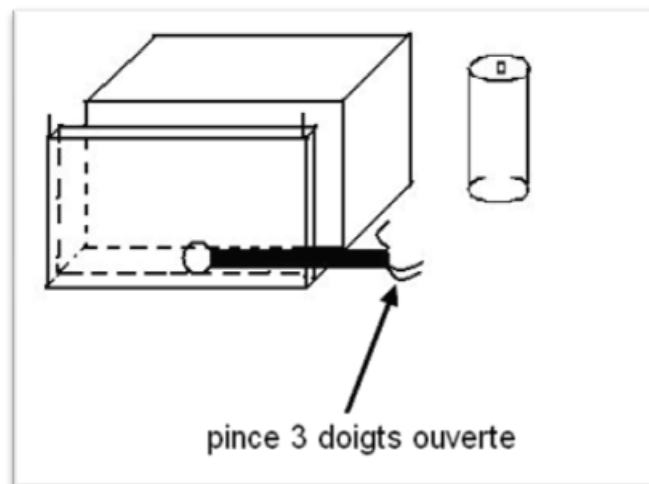


Figure X.16 : Schéma du robot lorsque l'on a détecté un maïs

Une fois que l'on a attrapé le maïs avec la pince nous allons remonter la pince pour stocker le maïs à l'arrière du robot (Figure 17). Ensuite nous allons utiliser les picots des maïs pour pouvoir les faire glisser dans un rail. Je n'ai pas dessiné le rail sur les schémas précédents afin qu'ils soient le plus simple et le plus clair possible. Pour faire glisser les maïs dans un rail à l'arrière, il faut que notre pince puisse bouger, il faut qu'elle ait une articulation. Ceci va donc nous permettre de laisser une partie des maïs hors du robot et donc préserver un peu de place.

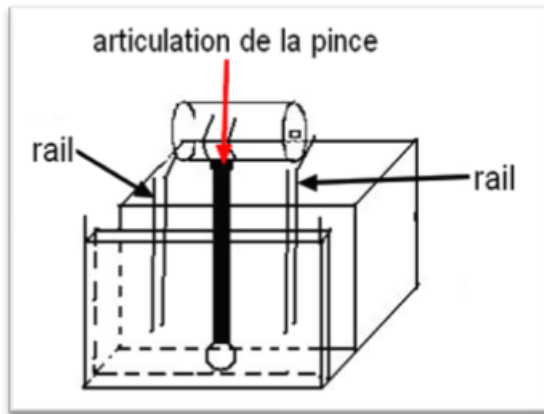


Figure X.18 : Schéma du robot avec le maïs prêt à être stocké

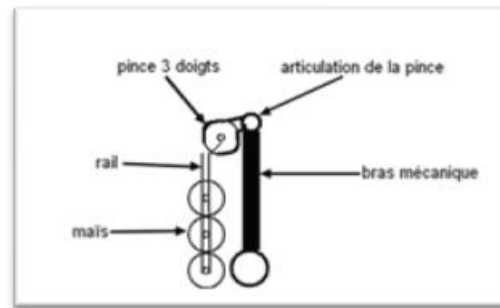


Figure X.17 : Schéma du système vu de gauche (ou droite)

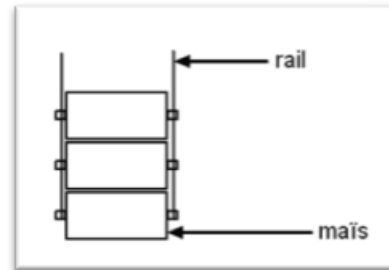


Figure X.19 : Schéma du système vu de l'arrière du robot

Une fois que nous avons réalisé cette étape, nous avons bien nos maïs dans le rail. Pour les décharger dans le bac il suffit d'ouvrir le bas des rails. Nous inclinerons légèrement la partie inférieure des rails pour faciliter le déchargement.

La pince utilisée :

La pince que l'on veut choisir pour cette solution est une pince angulaire 3 doigts avec 2 doigts fixes. Nous allons fabriquer cette pince afin qu'elle réponde à nos attentes. Le but est qu'elle soit la plus simple et la plus fonctionnelle possible. Nous allons faire la partie mécanique de la pince en aluminium. Nous avons déjà des plaques d'aluminium, il suffira d'usiner les différentes pièces de la pince. Nous mettrons du caoutchouc sur les doigts pour avoir plus d'accroche. La seule chose dont on a besoin c'est le moteur qui va nous permettre de fermer le bras mobile et le moteur qui réalise l'articulation de la pince. Nous allons sans doute utiliser deux servomoteurs pour cela. Nous ne pouvons pas sélectionner les moteurs dès maintenant. En effet, nous devons faire un certain nombre de test préalable pour ne pas se tromper dans les caractéristiques des servomoteurs. Nous pouvons toutefois faire des estimations. Dans tous les cas il faut qu'on calcule la force de serrage de la pince de la façon suivante :

$$F = \frac{\text{Masse de la pièce à saisir} \times \text{Accélération de la pesanteur} \times \text{Facteur de sécurité} \times 2}{\text{Coefficient de frottement}}$$

où l'accélération de la pesanteur = $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

Le tableau ci-dessous nous montre les différentes valeurs du facteur de sécurité :

Coefficient de sécurité S_o	Type d'utilisation
2	utilisation normale
3	mouvement dans plusieurs directions (faibles accélérations ou décélérations)
4	chocs, fortes accélérations ou décélérations

Dans notre cas il faut prendre $S_o=3$.

Le tableau ci-dessous nous donne certains coefficients de frottement particuliers :

Matière de la pièce	Matières des mors	Coefficient de frottement μ
Acier	Acier	0,25
Acier	Aluminium	0,35
Acier	Plastique	0,50
Aluminium	Aluminium	0,49
Aluminium	Plastique	0,70
Plastique	Plastique	1,00

Nous estimons que l'on a :

Masse de la pièce	250g
Facteur de sécurité	3
Coefficient de frottement	1
Accélération de la pesanteur	9.81

$$\Rightarrow F=14.7 \text{ N}$$

En estimant la longueur des doigts à 5cm et en ramenant cette force au bout des doigts il faudrait un moteur dont le couple de maintien est :

$$C = 14.7 \times 0.05 = 0.735 \text{ N.m}$$

Articulation de la pince :

On considère que l'ensemble pince + maïs a une masse de 500g et que la pince mesure 5 cm. L'articulation de la pince doit être capable de soulever 500g à 5cm. Il nous faudrait théoriquement un servomoteur dont le couple de maintien est de :

$$C = 0.5 \times 9.81 \times 0.05 \approx 0.25 \text{ N.m}$$

Matériel nécessaire pour la solution n°3 :

- Pince dont on a parlé précédemment (avec son articulation)
- 2 rails
- Le bras
- Articulation du bras

Pour le bras nous avons pensé à un tube carré en aluminium car cela est résistant et léger malgré tout. Pour l'articulation du bras, un moteur pas à pas semble être une bonne solution. En effet, ce type de moteur à une très bonne précision de placement et est facilement commandable. Il faut calculer le couple dont on a besoin. On va estimer le poids du bras et de la pince à 750g et la longueur du bras à 22cm. Si on ramène ces 750g au bout du bras on a besoin d'un couple de maintien :

$$C = 0.75 \times 9.81 \times 0.22 \approx 1.62 \text{ N.m}$$

Pour avoir un tel couple avec un moteur pas à pas nous allons utiliser un réducteur.

On peut facilement fabriquer les 2 rails en aluminium. Nous n'avons pas besoin de matériel supplémentaire pour les rails eux même. Néanmoins, il nous faut 2 petits servomoteurs pour d'ouvrir les rails par le bas.

Avantages et Inconvénients de la solution 3 :

Avantages :

- Solution intéressante techniquement
- Gain de place important
- Permet de ramasser des deux cotés

Inconvénients :

- Demande des moteurs avec un couple important
- Prix des moteurs important

Cette solution n°3 était la solution que nous avons choisie à la base car elle répondait bien à la problématique. En effet, elle permet de ramasser les maïs des deux cotés le tout en n'occupant que peu de place dans le robot. Mais, après avoir fait l'étude nous avons remarqué que les moteurs dont nous avons besoin demandaient un couple important. Il faudra donc qu'on fasse une série de test avec le matériel que l'on a déjà afin de voir si les calculs théoriques sont corrects.

Il faudra peut être modifié le système afin de trouver un compromis. De toutes les façons, nous devons développer une ou plusieurs pinces avec les caractéristiques énoncées précédemment.

Conclusion

Pour conclure, ce rapport bibliographique nous a permis d'identifier les solutions envisageables ainsi que le matériel nécessaire à la réalisation d'un robot respectant le règlement de la coupe de robotique.

Nous pourrons ainsi commencer directement la réalisation dès le début des séances planifiées.

Bibliographie

Batterie :

fr.wikipedia.org/wiki/Batterie_d'accumulateurs

www.pobot.org/Batteries-A123.html

www.stielec.ac-aix-marseille.fr/cours/escolano/download/accus_cours.pdf

Ramassage orange, tomate et maïs :

store.norgren.com/FR

www.piab.com

www.planete-sciences.org/national/

www.electronique-diffusion.fr

www.gotronic.fr/index.htm

www.cen-fr.biz/

www.selectronic.fr/default.asp

www.conrad.fr/

radiospares-fr.rs-online.com/web/home.html

www.robotshop.ca/

www.watterott.com/

fr.farnell.com/

www.nkcelectronics.com/

www.newark.com/

www.model-discount.com/

Microcontrôleur :

www.atmel.com/products/avr32/ap7/ap7_5.asp?family_id=682

Caméra :

www.sparkfun.com/commerce/product_info.php?products_id=8667

Traitement d'image :

www.generationrobots.com/boutique/cmucam.cfm

