

Pierre Emmanuel CARLIER
Damien DE SOUZA
Damien DUMAY
Germain FONDEUR
Thomas MONTJALON
Sylvain RODRIGUES
Guillaume TRANNOY

UV PR

REALISATION DE LA BASE ROULANTE DU ROBOT DE LA COUPE E=M6

ASSOCIATION COUPE E=M6

Dossier de présentation

Suiveurs Projet :

**FORGEZ Christophe
LANFRANCHI Vincent**

Automne 2004

SOMMAIRE

PRESENTATION

- | | |
|--|--------|
| | page 3 |
| 1. <i>La coupe E=M6</i> | page 3 |
| 2. <i>La Coupe de France de Robotique 2005</i> | page 4 |
| 3. <i>Cahier des charges de l'UV PR</i> | page 5 |
| 4. <i>L'équipe chargée de l'UV PR</i> | page 5 |

LA GESTION DU PROJET

page 6

LE TRAVAIL EFFECTUE

- | | |
|--------------------------------------|---------|
| | page 8 |
| 1. <i>Les veilles technologiques</i> | page 8 |
| a. <i>Mécanique</i> | page 8 |
| b. <i>Electronique</i> | page 8 |
| 2. <i>Réalisation</i> | page 9 |
| a. <i>Mécanique</i> | page 9 |
| b. <i>Electronique</i> | page 16 |

LE BUDGET

page 21

CONCLUSION

page 22

REMERCIEMENTS

page 22

ANNEXES

page 23

PRESENTATION

1. La coupe E=M6

La Coupe de France de Robotique est une compétition, au cours de laquelle viennent s'affronter les grandes écoles et universités françaises. Elle est organisée par la chaîne de télévision nationale M6 et l'Association Planète Sciences. Cette compétition se déroule chaque année au mois de mai sur le site de la Ferté Bernard à l'occasion du festival « Arts et Technologie », plus connu sous le nom de ARTEC.

Le défi proposé par la Coupe consiste à concevoir et fabriquer un robot mobile, totalement autonome à partir d'un sujet imposé par les organisateurs de la coupe et présenté au mois de septembre.

L'UTC participe à cette compétition depuis 1996, où un groupe d'étudiants motivés s'était constitué de lui-même pour participer à ce challenge. Aujourd'hui notre force est de profiter de l'enseignement des anciens participants et du savoir-faire acquis.

L'ensemble des personnes impliquées est vraiment déterminé à atteindre des objectifs précis : améliorer nos performances et éliminer nos faiblesses, déjà pour accéder à la phase finale et peut-être remporter la victoire. Il y a aussi la volonté de représenter notre école dans une compétition dont les retombées médiatiques sont de plus en plus importantes, et de la faire jouer dans la même cour que les plus célèbres écoles françaises. Par ailleurs, notre équipe s'est classée 12^{ème} en 2002 (sur 190 équipes sélectionnées), l'expérience des participations précédentes ayant été systématiquement mise à profit.

Cette activité inclut également un aspect formateur à ne pas négliger. Pour mener à bien ce projet, il est nécessaire de faire les meilleurs choix dans les délais les plus brefs, de réagir vite et de travailler efficacement. Par ailleurs, ce projet possède un aspect pratique important pour des étudiants ayant des connaissances plutôt théoriques : « mettre la main à la pâte » permet d'apprendre ce qu'implique d'avoir à commander une pièce ou de la fabriquer, d'utiliser un tournevis, de tenir un fer à souder, parcourir une documentation ou encore de déceler l'origine d'une panne.

De plus, ce challenge technique et humain nous permet, d'une part, de mettre en pratique nos connaissances scientifiques à travers une réalisation concrète, et d'autre part, d'acquérir une certaine expérience dans le travail en équipe affilié à un projet complet, au travers de toutes les disciplines impliquées (management, comptabilité, communication, stratégies, mécanique, électronique, informatique...).

2. La Coupe de France de Robotique 2005

Cette année, les robots jouent au bowling !!

Chaque équipe doit construire un ou deux robots entièrement autonomes. Les matchs se jouent entre deux équipes et durent 1 minute 30.

Une couleur de quilles est attribuée à chaque équipe. Sur le terrain, 15 quilles de chaque couleur sont disposées aléatoirement. Au départ, celles-ci se trouvent de l'autre côté d'un fossé, dans le camp adverse. Des ponts permettent de rejoindre l'autre côté mais ceux-ci sont placés aléatoirement, en début de partie. Il est également possible d'utiliser des balles de type « balle de squash » pour faire du tir balistique et ainsi espérer faire tomber des quilles à distance.

Pour gagner la partie, les robots doivent renverser le plus de quilles possible. Les robots peuvent aussi relever les quilles, de la couleur adverse, renversées par l'autre équipe.

L'équipe qui a le plus de quilles de sa couleur renversées en fin de match est déclarée vainqueur.

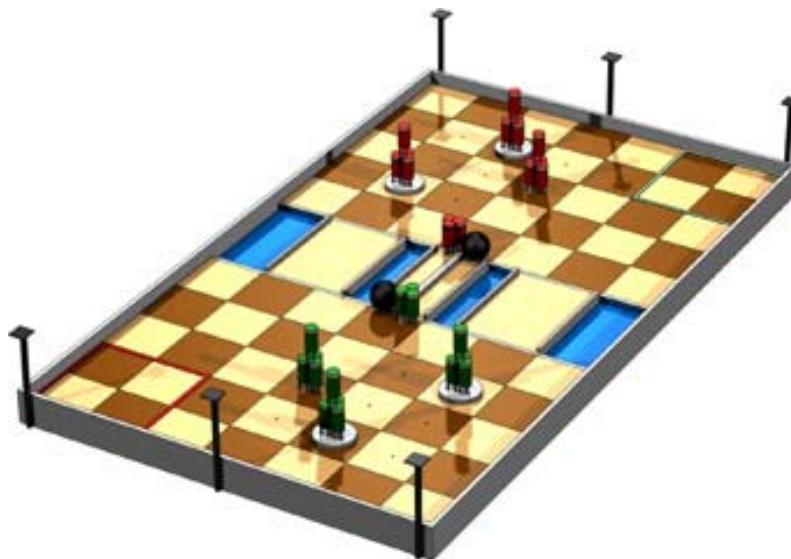


Illustration de la zone de jeu 2005.

3. Cahier des charges de l'UV PR

Chaque année, les stratégies de locomotions des robots se ressemblent, cependant nous repartons à chaque fois de zéro. Ceci est dû au manque de conservation de connaissance et d'archivage des informations

C'est pourquoi il nous a semblé utile d'essayer de construire une fois pour toute une base roulante réutilisable et fiable, ainsi que de mettre sur feuille toutes les informations la concernant.

Nous nous sommes fixé comme objectifs principaux :

- De réaliser une base roulante
 - Facilement réutilisable
 - Fiable
 - Modulaire
- Commandable :
 - En vitesse
 - En distance
 - En rotation
- Caractéristiques :
 - Pouvant supporter 15kg
 - Ne faisant pas plus de 260 mm de large

La meilleure solution pour pouvoir réaliser ce travail a été de le proposer en UV PR. Ainsi, nous pourrions réaliser un montage mécanique et développer les commandes électriques pour l'association Coupe e=M6 et de plus pouvoir utiliser les connaissances des deux professeurs encadrant l'UV.

4. L'équipe chargée de l'UV PR

Etudiants :

CARLIER Pierre Emmanuel	GM02
DE SOUZA Damien	GSM05 - CMI
DUMAY Damien	GM02
FONDEUR Germain	GM05 - MARS
MONTJALON Thomas	GI05 -
RODRIGUES Sylvain	GM05 - MARS
TRANNOY Guillaume	GM02

Suiveurs Projet :

FORGEZ Christophe	(laboratoire d'électromécanique de l'U.T.C.)
LANFRANCHI Vincent	(laboratoire d'électromécanique de l'U.T.C.)

LA GESTION DU PROJET

Le fait de réaliser ce projet à 7 nous a poussé à nous organiser entre nous afin de se répartir au mieux le travail à fournir. Il a été important de se répartir le travail en fonction de ce que chacun savait et voulait faire, afin de pouvoir aboutir le mieux possible au résultat escompté.

Nous avons souhaité expliquer la manière dont nous avons géré ce projet et les outils simples utilisés. Ceux-ci nous ont permis de penser le projet en terme de processus et ne pas avoir en tête les résultats seulement. Ils nous ont permis et de pouvoir anticiper les difficultés ou les phases qui nécessiteraient des décisions, ou plus de temps, ou des compétences autres que ceux du groupe. Nous avons pour cela travaillé avec un plan d'action PDCA simplifié et l'indicateur de suivi PDCA qui y correspondait.

Comme dans tout travail de groupe, et surtout dans le cadre de projets étudiants, la principale difficulté est d'éviter les sources de conflits dues à la communication. D'où la nécessité de parler avec des données. Un plan d'action, une action pour chacun des problèmes et pour répondre à un objectif et bien entendu un responsable de l'action. L'outil a relativement bien marché car il est responsabilisant et rassurant à la fois. Visuellement, Les roues PDCA se complète et cela permet de se rendre compte de l'avancement ou au contraire du retard cumulé.

Nous avons pu nous rendre compte aussi de la nécessité de rigueur dans le travail des tâches. Il fallait non seulement trouver une solution répondant aux besoins (Plan) mais il fallait l'appliquer (Do). Enfin, il a fallu capitaliser les connaissances car ce point était l'un des points essentiels de notre travail.

En dernier lieu, il nous apparaît que la gestion de projet est plaisante à vivre quand celui-ci est concret et réel. Le problème qu'on nous demande de traiter est dans le cadre d'une compétition, la solution idéale n'existe pas, et on fait le choix de reconnaître en nous une compétence à la résolution de problèmes. C'est un moteur qui a été motivant et qui a justifié la rigueur du travail fourni.

Vous trouvez ci-après le dernier plan d'action réalisé.

Mise en route du projet						
1	S 39	Les objectifs du sujet sont à définir	Rencontre avec les porteurs et formulation des attentes et des objectifs qualitatifs et quantitatifs	Groupe	S39	OK
2	S39	Les limites de l'étude ne sont pas fixées	Rédiger la note de clarification	Groupe	S41	OK
Veille technologique						
3	S40	Méconnaissance de l'existant	Analyse des technologies utilisées (mécanique)	Damien, Sylvain et Damien	S45	OK
4			Analyse des technologies utilisées et existantes (électronique)	Germain, Pierre, Guillaume et Thomas	S45	OK
Choix technologiques						
5	S45	Quelles solutions choisir ?	Recherche et choix de solutions de visualisation	Groupe	S48	OK
Commandes						
6	S47	Comment réaliser ?	Commandes sur catalogue	Groupe	S50	OK
7	S47		Faire fabriquer	Groupe	S50	OK
Réalisation						
8	S50	Réalisation	Assembler les produits	Groupe	S01	OK
Tests et essais						
9	S01	Vérification de la solution choisie	Tests et essais	Groupe	S02	OK
Capitalisation						
10	S46	Capitalisation et archivage	Réalisation d'un rapport comportant le mode de fonctionnement.	Groupe	S02	OK

LE TRAVAIL EFFECTUE

3. Les veilles technologiques

a. Mécanique

Afin de pouvoir éviter de proposer ou de faire des choses dépassées, inutile ou non fiables, nous avons procédé à une petite veille technologique de tout ce qui se fait à la Coupe de France de Robotique. Pour cela, nous nous sommes basé sur le site de l'ANSTJ, qui est l'association qui organise la Coupe de France. Sur son site, l'ANSTJ a recensé tous les posters des équipes de la compétition de 2004. Ces posters sont des documents remis à l'organisation en mai 2004 lors de la dernière compétition. A partir de ces posters, nous avons regardé comment les équipes avaient fait leur robot :

- Quel système de déplacement (roues, chenilles, pattes)
- Quel type de moteurs
- Comment et où les moteurs étaient placés
- Les accouplements (directs ou indirects)
- La forme des robots
- La modularité du « bloc moteur »

Les principales informations recueillies de cette veille sont :

- La plupart des équipes utilisent une liaison directe
- La motorisation se fait par des roues
- Les roues sont placées à l'arrière du robot
- Les robots sont de formes rectangulaires ou carré.

Il faut préciser que ces informations sont relatives au règlement de la compétition de 2004. Ces choix sont donc fortement liés au règlement. On peut noter que dans le passé, plus de robot à renvoi d'angle existaient.

Deux éléments sont donc à fortement retenir, les chenilles ont quasiment disparut et les robots cylindriques sont en forte voie de disparition.

Nous avons donc essayé d'éviter ces deux aspects pour la conception de notre base roulante.

b. Electronique

Cette veille technologique nous a permis de comparer les systèmes de commandes et d'asservissements utilisés par les 30 équipes les mieux placées dans la compétition qui nous intéresse. On a pu arriver à des choix qui sont présentés dans la suite.

4. Réalisation

c. Mécanique

Après de nombreuses hésitations sur le choix des moteurs, nous avons penché sur une solution à renvoi d'angles. Cette solution comprend l'utilisation de deux moteurs électriques entraînant les deux roues motrices du robot par l'intermédiaire de deux renvois d'angle à 90°.

Cette solution se justifie par le fait que les deux moteurs choisis sont trop longs pour pouvoir les monter « cul à cul ». L'un des problèmes apparaissant alors est le fait qu'un montage mécanique avec renvois d'angle n'est pas forcément évident à mettre en œuvre avec les petits moyens de l'association coupe e=M6. N'ayant pas beaucoup d'autres solutions sur les moteurs, il a été décidé de choisir tout de même cette solution.

i. Les moteurs

Après un dimensionnement des moteurs en fonction des besoins du règlement de cette année et en élargissant ces besoins pour les années à venir, nous avons pu choisir les moteurs adéquats.

Nous avons choisi des moteurs à courant continu RE035G/PLG52 de chez MDP-Motor, du fait de leurs disponibilité, de leurs caractéristiques, et de leurs prix.

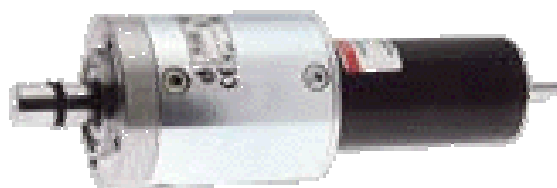


Photo du moteur choisi

ii. Les renvois d'angle

En ce qui concerne la transmission par renvoi d'angle, nous avons opté pour des systèmes déjà tout fait, qui permettent une plus grande précision, un meilleur rendement et un meilleur rapport qualité prix que les montages expérimentaux. Voici la référence que nous avons retenue :

- Référence 748-437 chez Radiospares ou B332.31.2 chez HPCeurope, avec les caractéristiques suivantes : $R_r = 1$, $C_{\max} = 0.68 \text{ Nm}$, $V_{\max} = 1500 \text{ tr.min}^{-1}$, $\eta = 0.94$, prix RS : 57.50 € pièce et prix HPC : 52 € pièce (avec -10% en tant que participant à la Coupe).

Pour des raisons de disponibilité, nous avons commandé ces 2 pièces chez Radiospares.



Photo du renvoi d'angle choisi

iii. L'accouplement

En ce qui concerne la liaison entre l'arbre moteur et l'arbre de la transmission, nous avons décidé d'usiner un accouplement rigide. Du côté moteur, le blocage en rotation est assuré par une vis de pression qui se trouve dans la gorge prévue initialement pour la clavette. De l'autre côté, nous avons usiné un méplat sur l'arbre du réducteur, méplat sur lequel vient appuyer une autre vis de pression.



Photo de l'accouplement réalisé à la halle GC.

iv. Les roues

En ce qui concerne les roues, il nous a fallu trouver des roues d'un diamètre compris entre 60 et 100 mm, pas trop large et suffisamment adhérentes pour ne pas qu'elles glissent sur la table de jeux en bois.

Pour cela, nous avons choisis des roues de roller de diamètre 80 mm et de largeur 22 mm. Ces roues sont très intéressantes car elles permettent de ne pas glisser sur la table et le système de fixation « roue – arbre moteur » a déjà été réalisé à l'association coupe E=M6.

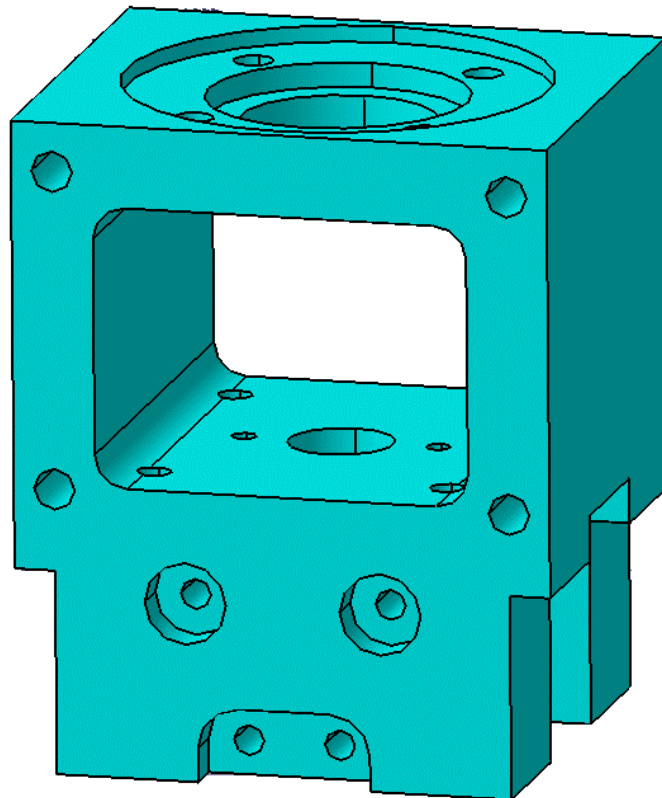


Roue et son système de fixation.

v. Les blocs moteurs

Lorsque nous sommes passés à la solution avec renvoi d'angle, nous avons décidé d'usiner une pièce certes complexe, mais qui proposait une universalité, notamment au niveau des différentes positions des moteurs (verticale et horizontale) ; aspect qui satisfait pleinement au cahier des charges. Cette pièce, que par la suite nous appellerons Bloc Moteur, doit permettre la mise et le maintien en position du motoréducteur, la mise et le maintien en position du réducteur, la fixation de l'ensemble au sein du robot, notamment sur la plaque de fond.

Après une petite étude nous sommes arrivés à une pièce de ce type :



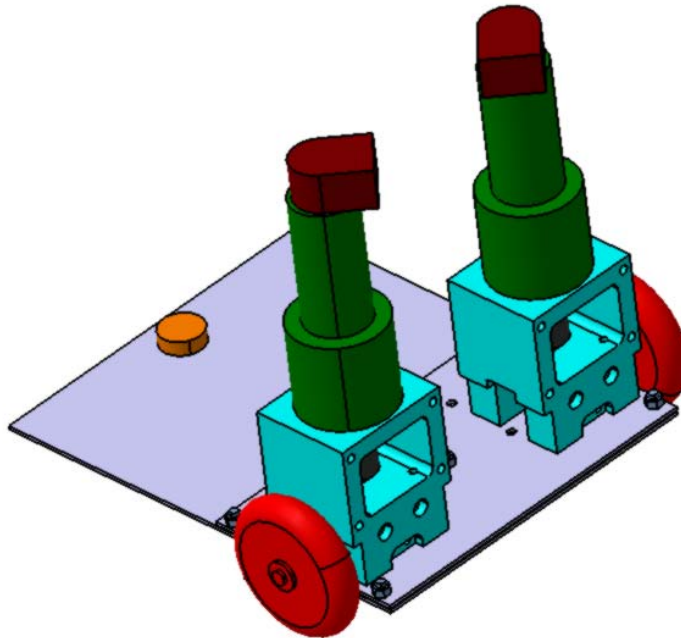
Bloc moteur pour la solution avec renvoi d'angle.

Cette nouvelle pièce a de nombreux avantages :

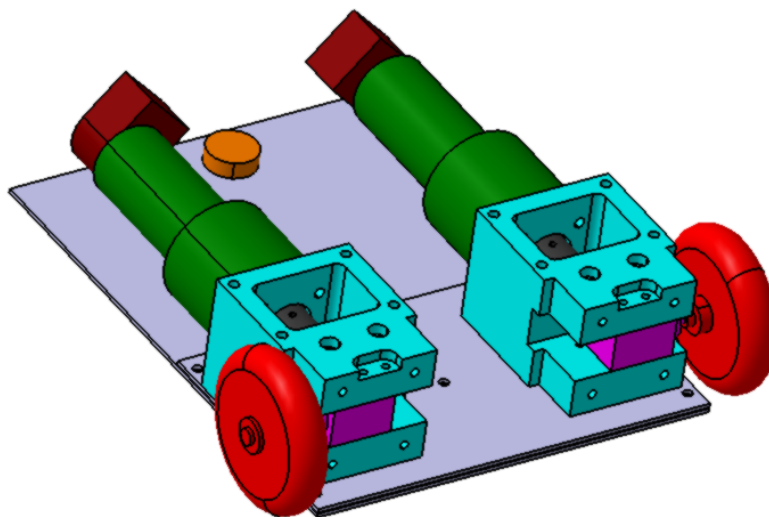
- Elle nous permet de pouvoir incorporer le renvoi d'angle
- De maintenir les pièces entre-elles et de limiter les efforts directs sur les différents éléments
- D'être installé à l'horizontale ou à la verticale

vi. Assemblage final

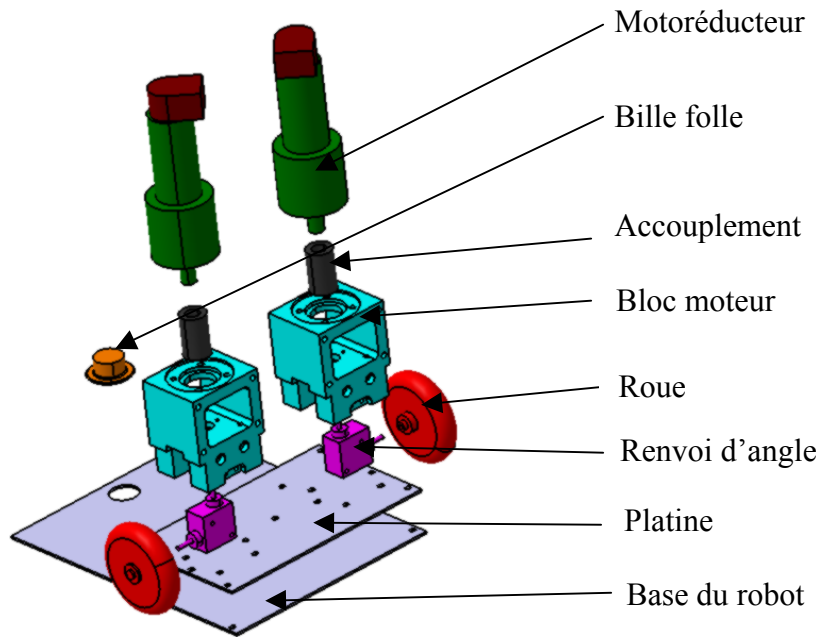
Finalement, nous obtenons un montage simple (malgré les renvois d'angle), fiable, et modulaire. Ceci correspond parfaitement aux attentes de début de projets.



En position verticale.



En position horizontale.



Vue éclatée de la base mécanique.

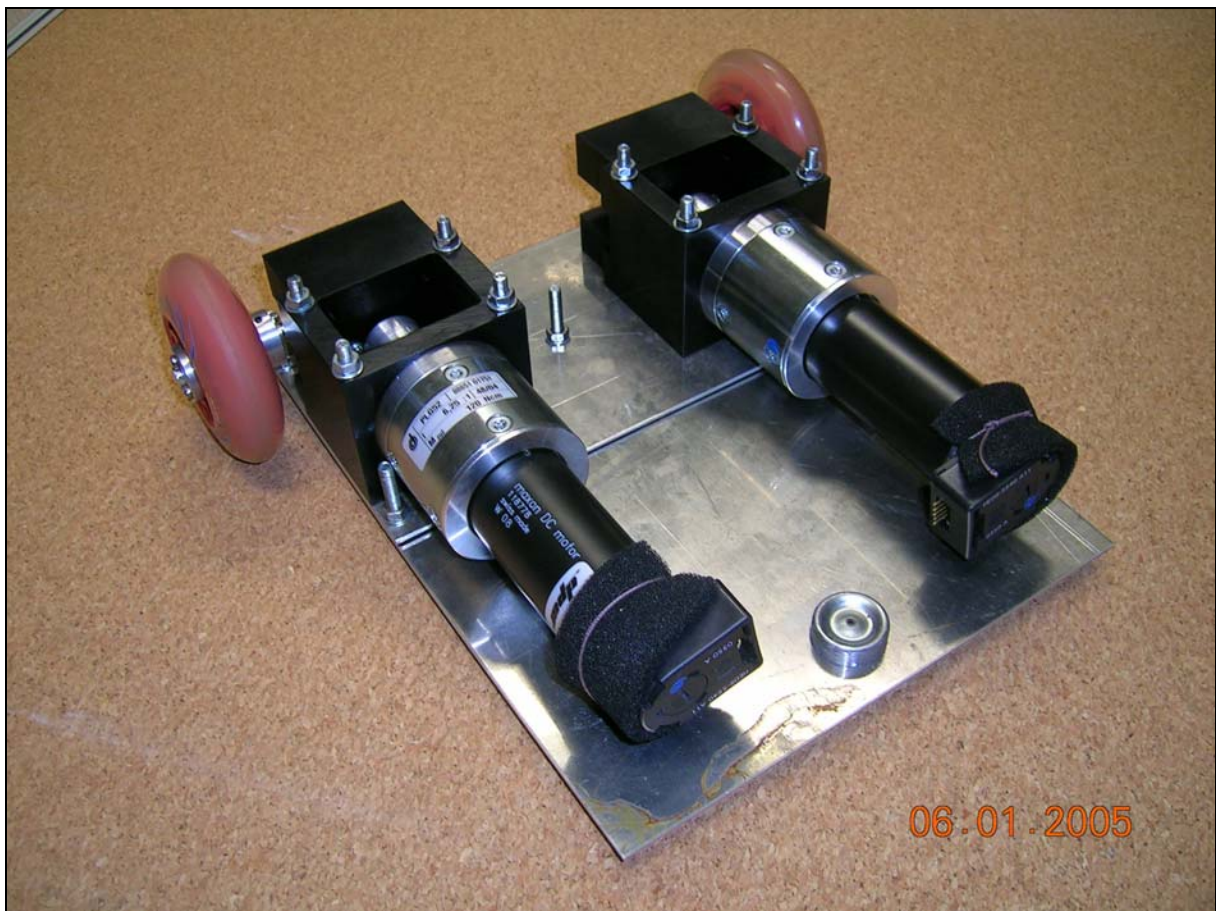


Photo de l'assemblage roues – blocs moteurs – moteurs – platine.

d. Electronique

Après mûre réflexion et dans le but de limiter le nombre de composants programmables, nous avons opté pour une architecture du type carte principale programmable autour de laquelle viennent s'ajouter les différents capteurs et les cartes d'actionneurs du robot.

i. Carte centrale

La carte centrale du robot doit être suffisamment puissante pour supporter des utilisations futures gourmandes en ressources. Ainsi, on pourra réutiliser la même d'année en année et économiser du temps de développement et de l'argent. Elle doit également avoir assez d'entrées-sorties et de bus pour pouvoir brancher tous les périphériques.

ii. Asservissement :

Après avoir testé différentes solutions :

- Asservissement analogique : cartes Escap (carte de puissance + correcteur PI)
 - Avantage : facile à mettre en œuvre
 - Inconvénients : aucun retour quant au bon déroulement de l'asservissement, consigne en analogique.
- Numérique 'artisanal'
 - Avantage : fiable et précis
 - Inconvénient : complexe à mettre en œuvre
- Numérique 'tout fait'
 - Avantage : très pratique, relativement facile à mettre en œuvre et très précis

Notre choix c'est donc porté sur l'asservissement numérique 'tout fait'.

iii. Batteries

Différents comparatifs ont été analysés et condensés, ce qui nous a permis d'opter pour des batteries NiCd, bon marché et particulièrement adaptée à l'alimentation de moteurs de part leur grande résistance aux pics d'intensité.

iv. Solution 'artisanale'

Le système se décompose en :

- _ Un microcontrôleur pour appliquer la PWM, asservir est commandé
- _ Une carte de puissance pour chaque moteur basée sur un LMD18200
- _ Une carte compteur d'impulsions pour les codeurs

Afin de favoriser l'interactivité et les réglages, j'ai ajouté une carte afficheur LCD avec 6 boutons sur la carte μ C.

Carte compteur d'impulsions codeurs :

Son rôle est de décharger le μ C d'une tâche simple mais qui demande toute la disponibilité du μ C au détriment des autres fonctions de celui-ci, ou avec le risque de rater des impulsions et d'avoir une fausse indication de vitesse.

Carte de puissance :

Elle s'articule autour du LMD18200 qui est un « pont en H » intégrant une logique TTL qui permet de le connecter directement à un μ C ainsi que de le commander en PWM avec des périodes allant jusqu'à 100KHz.

Le LMD18200 peut commander des moteurs courant continu pour des tensions de 12 à 55V et des intensités jusqu'à 3A nominal (et des pics de 6A sur 200ms).

Carte microcontrôleur :

Il s'agit d'une banale carte à 16F877 en communication directe avec les autres cartes par liaison parallèle.

La carte LCD comprend les commandes classiques des LCD à interface 8bits, commandé ici en mode 4bits en raison du nombre de broches disponible sur le 16F877.

Algorithme :

La fréquence d'échantillonnage avec des roues de 4cm de rayon permet de contrôler une vitesse maximum de 4.7 m/s => ce qui est amplement suffisant pour notre application.

Les algorithmes 'software' sont le plus souvent des approximations permettant au microcontrôleur d'avoir le temps d'effectuer les calculs.

En effet, les formules rigoureuses avec des représentations fiables du système nécessiteraient une capacité de calcul trop importante.

Conclusion :

Cette solution est envisageable, et déjà utilisée par différentes associations de robotique.

Le point le plus délicat reste le calcul du correcteur par le microcontrôleur qui réclame une grande puissance, et cela constamment et le plus rapidement possible pour que le système reste réactif.

Si cette solution est retenue, il est nécessaire d'utiliser un microcontrôleur dédié pour l'asservissement, et d'établir ensuite un protocole de communication avec la carte principale qui appliquera les consignes en fonction du parcours que doit faire le robot.

Remarques :

Lors des essais, il y eut un problème avec le port B sur la carte microcontrôleur => il était causé par l'option LVP (Low Voltage Programming) dans le registre du PIC 16F877A qu'il faut veiller à désactiver, car dans le mode LVP, la broche 3 du port B fait commuter ce dernier en mode programmation et stoppe le fonctionnement en cours.

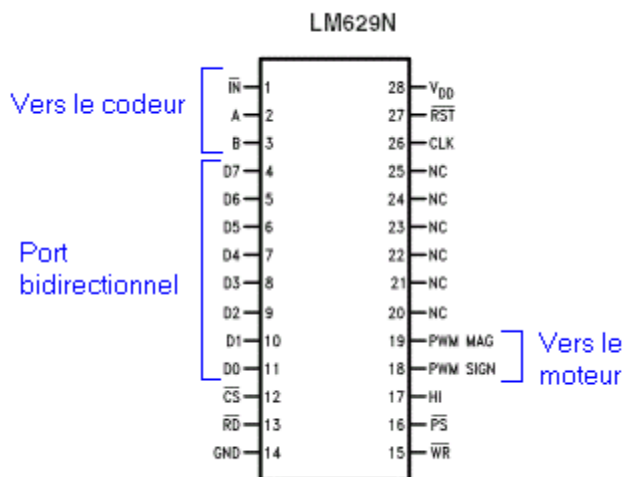
Suite à la perte d'un codeur après une mauvaise manipulation, nous n'avons pas pu réaliser de tests de déplacement avec asservissement => en revanche la commande des moteurs avec variation de vitesse était satisfaisante.

Le LCD présente quelques problèmes d'affichage propre à un défaut de fabrication de celui recyclé sur la carte LCD de tests => il faudrait un LCD neuf.

v. Asservissement

Cet asservissement repose sur le LM629 qui va faire une grosse partie du travail pour nous. Cet asservissement dispose d'un correcteur PID dont chaque paramètre (P, I et D) est ajustable numériquement.

On peut lui fixer une consigne de vitesse ou de position, ainsi qu'une accélération.

Présentation des principales broches :

Principe de fonctionnement:

❖ Le démarrage :

Au démarrage, ou après un reset, tous les registres (en 8, 16 ou 32 bits) du LM sont nuls. Ainsi la première étape consiste à les configurer.

1. Les registres du filtre PID :

Les coefficients P, I et D sont codés en 16 bits, on peut donc leur assigner une valeur comprise entre 0 et 65535.

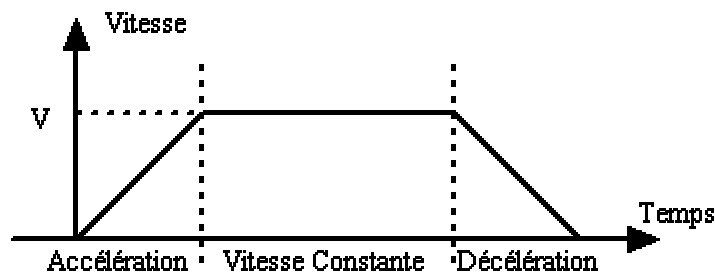
2. Le chargement d'une trajectoire :

La trajectoire est définie par son profil trapézoïdal, c'est à dire :

- une accélération
- une vitesse maximale
- une position à atteindre (uniquement en mode position).

Chacun de ces éléments peut être défini en absolu ou en relatif par rapport aux éléments actuels, c'est à dire par rapport à :

- l'accélération actuelle.
- la vitesse maximale de consigne actuelle.
- la position à atteindre actuelle.



Profil de vitesse trapézoïdal

Voici les principales caractéristiques de notre système, sachant que le codeur dont nous disposons délivre 500 impulsions par tour et que le moto réducteur a un rapport 6,25.

Pour le déplacement :

- Nous pouvons coder un déplacement maximum de plus ou moins : 21,6 km !
- Avec un quantum théorique de : 0,02 mm

Pour la vitesse :

- Vitesse maximum : 1072 Km/h (bien sûr la vitesse maximum réelle dépendra du moteur utilisé.
- Avec un quantum de : $1,17 \cdot 10^{-17}$ m/s

Pour l'accélération :

- Accélération maximale codable : 2827433 m/s^2
- Avec un quantum de : $2,63 \text{ mm/s}^2$

Conclusion :

Ce composant peut donc servir dans un très grand nombre d'application et avec une très grande précision théorique. En pratique, la précision dépendra beaucoup du système. Ce dispositif, bien que plus complexe (mais une fois que les principales fonctions ont été correctement programmées, c'est le contraire) à utiliser par rapport à la 'solution Escap' est beaucoup plus précis.

Les essais qui ont mené confirment la très grande précision des LM.

LE BUDGET

Voilà le budget de notre projet, il correspond largement au budget que nous nous étions fixé, ce qui peut notamment, s'expliquer par le fait que nous n'avons pas acheté les batteries et leur chargeur.

Budget PR A04

	Désignations	en Euros
Mécanique		
	2 moteurs	674,54
	2 transmissions	122,37
	2 roues de roller	15,00
	2 axes de roues	0,00
	2 accouplements rigides	0,00
	2 supports	30,00
	Platine support	0,00
	Plaque de fond	0,00
	Usinage	0,00
	Visserie	1,67
Electronique / Informatique		
	Carte de développement Pic	119,32
	Carte mère	183,05
	2 LMD 18200	63,08
	Composants divers	62,65
	Tirage de carte	0,00
Divers		
	Impressions rapports	60
	Démarchage téléphonique et fax	2,00
Total		1 333,68
Objectif fixé		2 000,00
Conclusion	Bénéficiaire	666,32

CONCLUSION

L'objectif de ce projet était de réaliser la base roulante du futur robot de la Coupe E=M6. Nous pensons avoir atteint notre objectif, même si d'autres tests et améliorations doivent être envisagés et effectués. Le dossier de présentation ici présent est complété d'un dossier plus technique qui constitue une base documentaire, qui pourra dans l'avenir être consulté, et donc faire gagner du temps aux futures équipes. Cette UV PR va permettre à l'association de partir sur de bonnes bases pour cette édition, mais aussi pour les prochaines.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier :

- M. Loriaux et M. Baillot, responsables de l'atelier TN04.
- M. Lanfranchi et M. Forgez, enseignants chercheurs au laboratoire d'électromécanique de l'U.T.C., et suiveurs de notre PR.
- M. Poirel, technicien de la halle G.C..
- M. Pouille, responsable de la halle G.S.M..
- M. Monte, Chef d'atelier chez A.S.M.P..
- M. Arnoult, Enseignant chercheur à l'U.T.C. (pour les calculs de R.D.M.).

ANNEXES

Feuille de présentation de l'UV PR

Revue de mi-projet

Comptes-rendus

Présentation