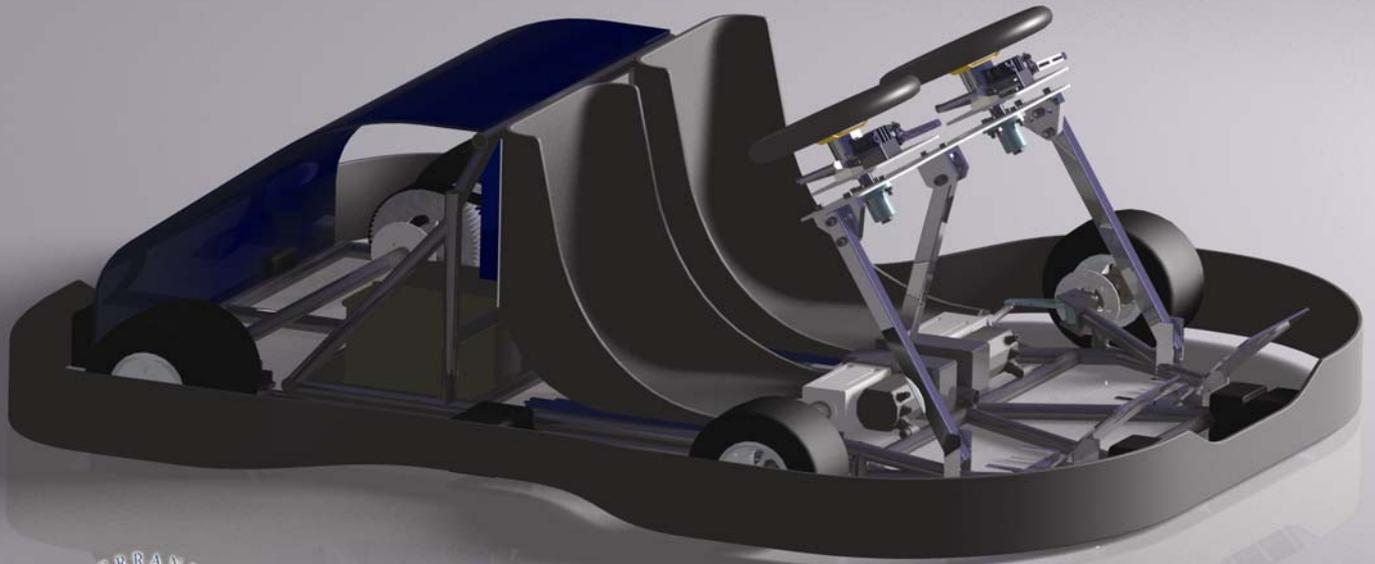


Drive by wire

Projet 2006-2007



Université Blaise Pascal



Rapport de projet Master 2 Professionnel Mécatronique

Direction électrique :

*Double commande
Loi de commande
Centre Instantané de Rotation*

Réalisé par : Mr LEROYER Guillaume et Mr BONINSEGNA Sylvain

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier tout particulièrement Mr MIKOLAZOVITCH, Mr DUMAS et Mr MARMOITON, chefs de projet, pour toute l'attention et le tutorat qu'ils nous attribué tout au long de ce projet.

Nous adressons nos remerciements distingués à Mr ALLEGRE de la société Speedomax pour sa généreuse collaboration.

C'est à une équipe conviviale et dynamique composée de Mr GRAVELIN, Mr LEDON, Mr SEYVE, Mr BEAUGIER, Mr MONDOT et Mr ROUSSET que nous attribuerons l'expression de nos salutations les plus sincères.

INTRODUCTION

Depuis plusieurs années, l'Institut Universitaire Professionnelle en Génie des Systèmes Industriels, option mécatronique, de Clermont-Ferrand offre l'opportunité à ses étudiants de s'épanouir dans des projets technologiques concrets.

Cette année, l'université se lance un nouveau challenge.

Elle a décidé de relever le défi en s'inscrivant au concours d'innovation *E_KART*. Ce concours rassemble 10 écoles de France autour d'un même objectif : présenter le kart électrique possédant les plus belles innovations.

8 étudiants de master 2 se sont lancés dans l'aventure avec la ferme intention de concevoir « le » kart électrique. En effet, les innovations proposées réunissent plusieurs technologies qui laissent libre recours à un prototype d'avant-garde.

Nous, Mr LEROYER Guillaume et Mr BONINSEGNA Sylvain, nous sommes complètement investis dans l'une des innovations majeurs de ce projet. Nous avons conçu la première direction électrique intelligente pour kart.

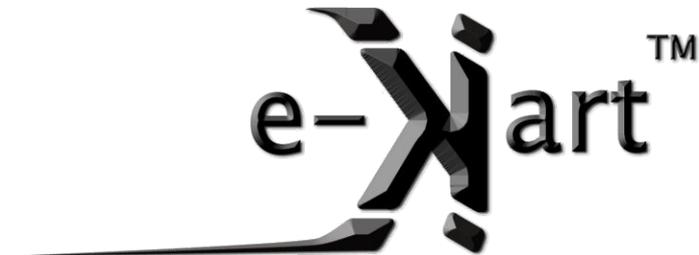
SOMMAIRE

| | |
|--|----|
| 1. Présentation du projet | 5 |
| 1.1. Cahier des charges | 7 |
| 1.2. Groupes de travail | 8 |
| 1.3. Brainstorming | 10 |
| 1.4. Gestion de projet | 12 |
| 2. Présentation de l'étude | 15 |
| 2.1. Etude S.A.R.T | 15 |
| 2.2. Direction électrique | 20 |
| 2.2.1. Etude du C.I.R | 20 |
| 2.2.2. Architecture | 27 |
| 2.3. Etude électromécanique | 28 |
| 2.3.1. Asservissement | 28 |
| 2.3.2. Servomoteur | 30 |
| 2.3.3. Transducteur linéaire | 32 |
| 2.3.4. Réglage OFFSET | 33 |
| 2.4. Etude électronique | 38 |
| 2.4.1. Alimentation | 38 |
| 2.4.2. Microcontrôleur | 38 |
| 2.4.3. Traitement des signaux | 44 |
| 2.5. Programmation temps réel | 52 |
| 3. Réalisation | 54 |
| 4. Bilan du projet | 58 |
| 4.1. Bilan de l'étude | 58 |
| 4.2. Projets futurs | 61 |
| 5. Conclusion | 62 |

1. Présentation du projet

Ce projet s'inscrit dans un challenge pédagogique :

Le concours



But : conception et réalisation de karts électriques par les étudiants de différentes écoles.

Avec la collaboration de la société

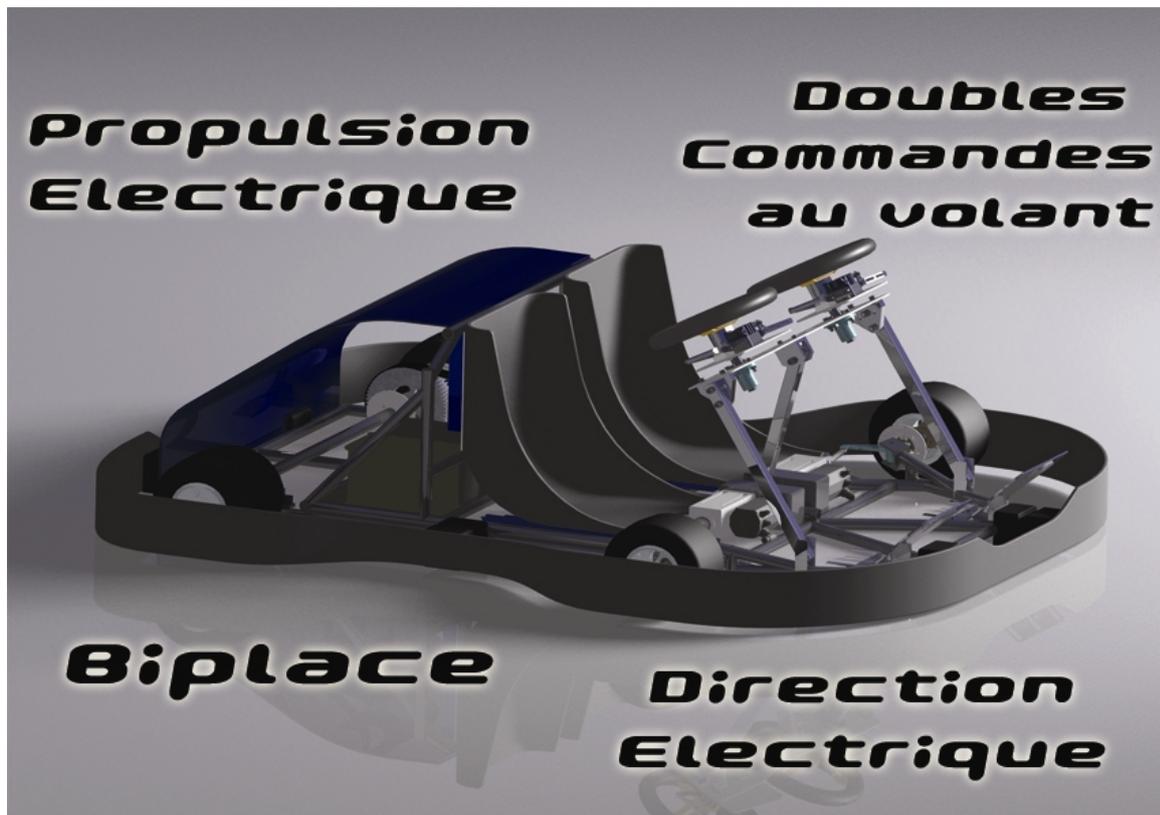


Date : du 30 Mars au 1er Avril

Catégorie Prototype

But : réaliser un kart le plus innovant possible

Innovations proposées:



**Accessibilité aux personnes à
mobilité réduite**

Chiffres clés :

10/2006: Date début projet

8 : Etudiants sur le projet

7500 : Budget en Euros

100 Heures d'étude par étudiant

1.1. Cahier des charges

- Fonctions générales :
 - Transporter 2 personnes (dont 1 personne à mobilité réduite)
 - Poids Total Admissible à Vide : 200 Kg maximum
 - Poids Total Admissible en Charge : 400 Kg maximum
 - Vitesse maximum sur circuit : 70km/h
- Caractéristiques générales :
 - Avoir un comportement proche d'un kart de loisir monoplace électrique (vitesse, accélération)
 - Se commander facilement (accélérateur, freins) à l'aide de commande aux volants
 - Assurer la sécurité physique des utilisateurs
 - Etre évolutif
- Caractéristiques techniques (réglementation kart indoor) :
 - Véhicule à 4 roues
 - Dimensions maximales: 2300 x 1400 mm
 - Accélération : 0 à 70 Km/h en 100 mètres.
 - Autonomie : 10 minutes minimums
 - Temps de chargement : 2 fois l'autonomie
 - Angle de braquage : +/- 30°
 - Motorisation (propulsion):
 - Moteur : 6kW asynchrone 30V triphasé, 500A (max), 30Nm (max en sortie d'axe moteur)
 - Variateur : 3 ou 5 vitesses, sélection vitesse : TOR, 48V, 450A (max)
 - Codeur : 2 pistes à 48 pulses/tr, 0 à 110Hz, 3000tr/min (max)
 - Freinage : par disque + frein moteur
 - Direction : « drive by wire » avec optimisation du centre instantané de rotation

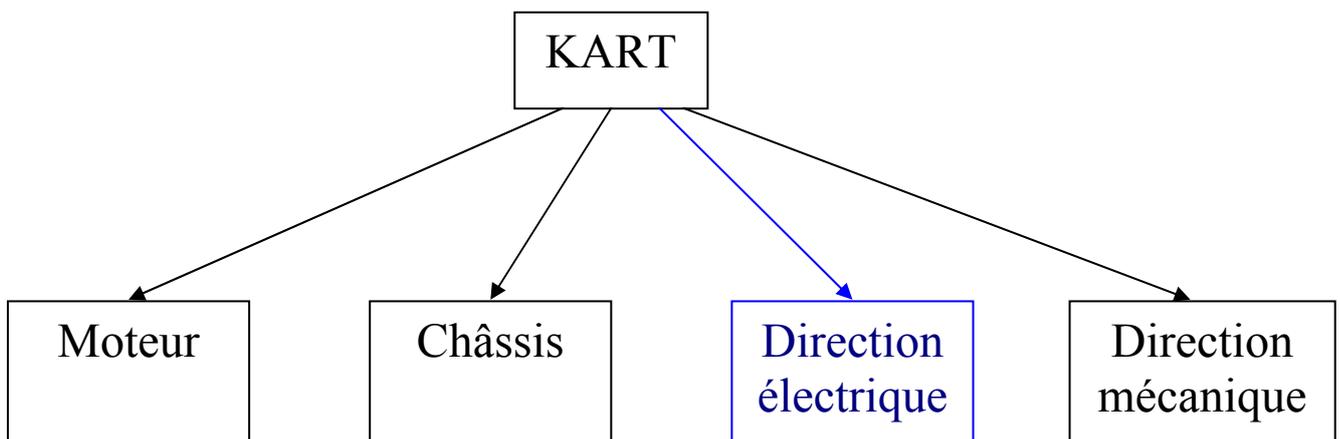
- Pilotage : 2 volants de commande indépendants
- Accélération et freinage : électrique/mécanique par gâchettes aux volants
- Accessibilité : 2 sièges dont 1 adapté aux personnes à mobilité réduite

- Sécurité :
 - Partie tournante (sauf roues) capotée
 - Freinage mécanique à double câble
 - Tube châssis : $\varnothing 30$ ép. 1,5 mm

Ce cahier des charges a été élaboré avec les différents groupes de travail d'étudiant, les chefs de projets et Mr H.ALLEGRE (société Speedomax).

1.2. Groupes de travail

Le projet d'étude kart biplace a été divisé en 4 sous-ensembles formant 4 groupes de travail en binôme.



Limites d'étude de chaque groupe de travail :

Equipe moteur : Mr GRAVELIN Benjamin et Mr LEDON Sylvain

Moteur électrique, variateur, commande du moteur (fonctionnement, interfaçage, programmation...), freinage par récupération de courant.

Equipe châssis : Mr SEYVE Yannick et Mr BEAUGIER Franck

Géométrie châssis, implantation des organes (direction, variateurs, moteurs, siège...), ergonomie siège adaptable aux personnes à mobilité réduite, différentiel train arrière.

Equipe direction mécanique : Mr MONDOT Julien et Mr ROUSSET Sébastien

Roue et articulation avant, volants avec gâchettes, implantation actionneurs électriques, freinage.

Equipe direction électrique : Mr LEROYER guillaume et Mr BONINSEGNA Sylvain

Optimisation du Centre Instantané de Rotation (C.I.R) et sélection loi de commande par microcontrôleur, direction par actionneurs électriques.

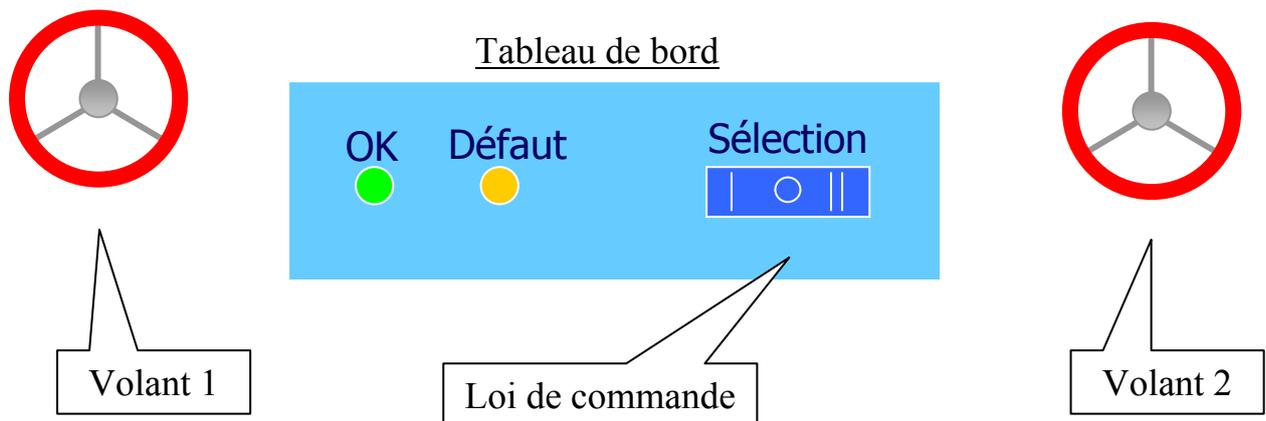
Les 4 groupes de travail sont sous la tutelle des chefs de projets. Ils travaillent en autonomie sur le sujet qu'il leur a été attribué. Des réunions régulières sont organisées afin de faire le point sur l'avance du projet. Les groupes de travail sont étroitement liés et étudient en collaboration les points communs.

Une bonne connaissance de la globalité des études en cours est indispensable pour mener à bien le projet en équipe. La communication doit y être omniprésente.

1.3. Brainstorming

(Ne seront développés dans cette partie que les solutions étudiées. Pour les idées supplémentaires cf. : bilan de projet \ idées futures)

L'architecture retenue pour la réalisation d'une direction bi commande, avec deux roues directionnelles indépendantes et une centrale de calcul du C.I.R est la suivante :



L'idée est de mettre en place deux volants (un pour chaque siège) et de sélectionner lequel prend la main sur le pilotage.

Sélection I : Volant droite

Sélection II : Volant gauche

Sélection O : loi de commande « exotique » (moyenne des 2 volants, logarithmique...)

Les volants :

Il existe plusieurs solutions possibles pour capturer une consigne d'angle de braquage, mais la priorité est d'obtenir une solution modulable :

- Volant
- Joystick
- Manette (style manette de jeu)

Les joysticks sont essentiellement analogiques (joysticks de pilotage des sièges électriques des personnes à mobilité réduite).

Les manettes de jeu actuellement sur le marché offrent elles aussi des commandes analogiques.

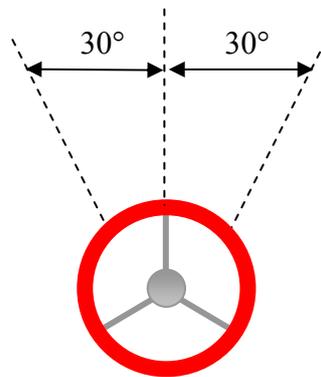
Cela impose donc une consigne de braquage analogique.

Effectivement, les capteurs de type codeur absolu sont très bien adaptés à la capture d'une position angulaire mais offrent le désavantage de monopoliser plusieurs entrées sur la centrale de calcul (via microcontrôleur) et la modularité des systèmes de pilotage serait perdue ou difficile à mettre en place.

On retiendra donc, pour une première mise en place, des volants munis de capteurs analogiques.

Ces capteurs analogiques pouvant être de plusieurs types mais le plus adapté est le potentiomètre bobiné offrant un grand nombre de manœuvres et un signal de sortie moins parasité que les potentiomètres classiques.

Angle de braquage



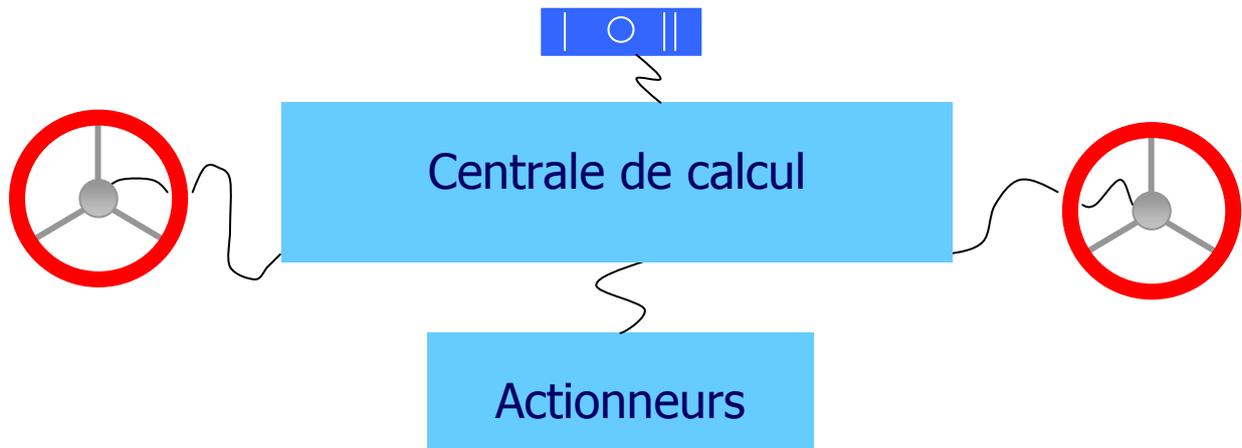
Les angles de braquage ont été définis par mesure des angles de braquage des volants installés sur les karts de la société Speedomax.

Le tableau de bord devra afficher, via des LED, l'état de la technologie de la direction électrique.

LED verte : direction OK

LED orange : défaut direction

Architecture commande électrique



L'architecture retenue présente une centrale de calcul autour de laquelle convergent les différents éléments technologiques.

1.4. Gestion de projet

Lors des premières séances, les 4 binômes se sont concertés afin de définir un cahier des charges commun et de dégager les premières problématiques du projet, notamment celles qui interagissent entre plusieurs groupes de travail. Une fois ce travail commun effectué nous avons pu nous consacrer, par binôme, au travail à réaliser en commençant par élaborer un planning prévisionnel. Nous avons donc choisi de figurer ce planning sur le tableau de type Gantt suivant qui permet de discerner les différents objectifs à atteindre et leurs délais respectifs.

Planning

| GANTT | Séances | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | |
|--|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|
| Prise en main du projet | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Définition des objectifs et du planning | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Structured Analysis Real Time | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Etude du C.I.R. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Etude électromécanique | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Etude des signaux | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Etude des alimentations | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Réalisation de la carte électronique | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Programmation du microcontrôleur | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Essais et réglages | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Préparation du rapport et de la soutenance | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Prévision

Réalisation

Comme vous pouvez le constater, la définition des objectifs lors du brainstorming pris plus de temps que prévu alors que l'étude temps réel (S.A.R.T. cf. 2.1) fut plus rapide que ce dont nous nous attendions.

L'étude du C.I.R. fut discontinuée car nous ne pouvions pas déterminer dès le commencement du projet quelle serait la relation entre l'angle de braquage des roues et le déplacement des actionneurs et nous dûmes attendre la fin de l'étude de la liaison mécanique pour finaliser la Look Up Table.

L'étude électromécanique aussi fut irrégulière du fait de l'attente de réponses des fournisseurs, mais aussi plus longue que prévu à cause des changements de matériels, car nous espérions obtenir les vérins électriques de la part d'un grand fabricant de pneu de la région.

Comme les études précédentes étaient en suspens, nous primes de l'avance sur la programmation temps réel et l'étude des signaux. Puis, les informations des fournisseurs et de nos collègues de la direction mécanique arrivant, nous adaptèrent au fur et à mesure notre système aux nouvelles contraintes, ce qui allongea quelque peu le temps préalablement fixé.

Nous purent alors, lors des dernières séances, dessiner tous les schémas de câblage et commencer à réaliser les prototypes associés afin de valider ces schémas. **Nous sommes d'ailleurs revenu les semaines suivantes, en espérant achever les prototypes avant de partir en stage.**

Nous espérions au départ, pouvoir faire l'étude, la réalisation et les réglages de la direction "drive by wire" sur le kart en une centaine d'heures, en se doutant que ce n'était qu'une utopie. Nous avons tout de même réussi à finaliser l'étude et commencer la réalisation, ainsi qu'à obtenir les devis d'actionneurs alors qu'il reste moins d'un mois avant la manifestation E-Kart lors de laquelle notre kart électrique va être dévoilé.

2. Présentation de l'étude

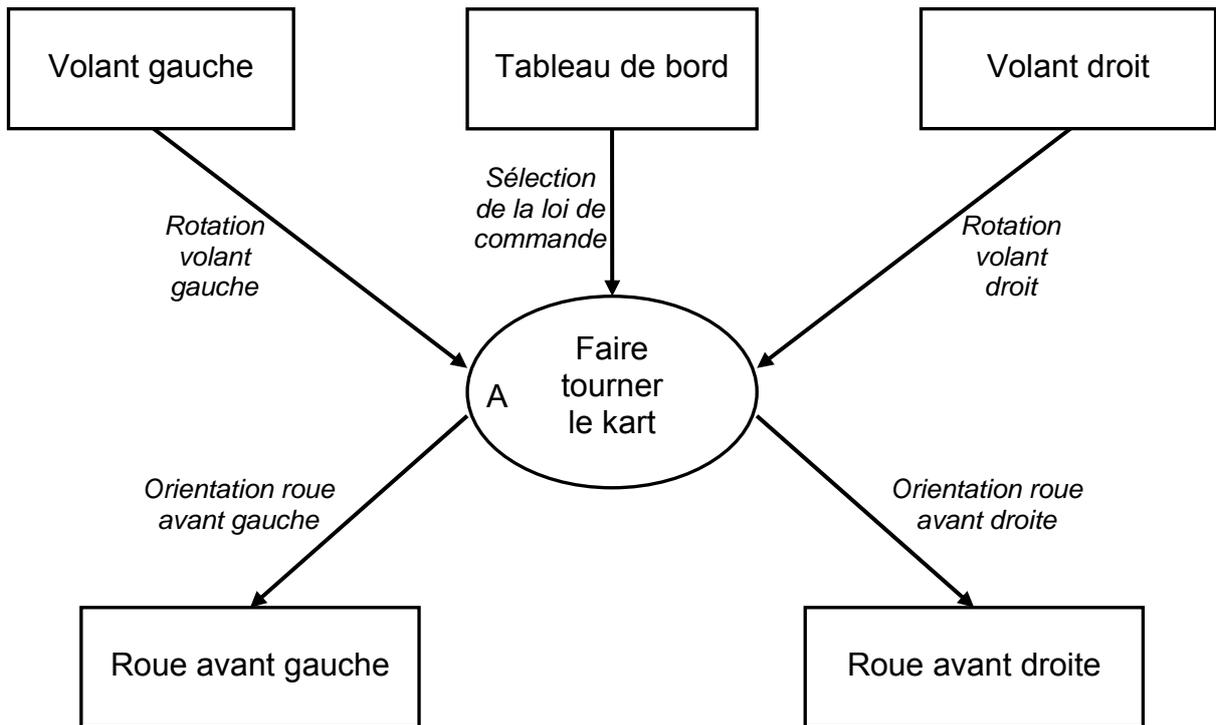
2.1. Etude S.A.R.T.

Afin d'analyser toutes les fonctions que nous avons à implémenter, nous avons commencé le projet en étudiant notre système par la méthode Structured Analysis Real Time (S.A.R.T.), puisque ce système de direction électrique doit réagir en temps réel.

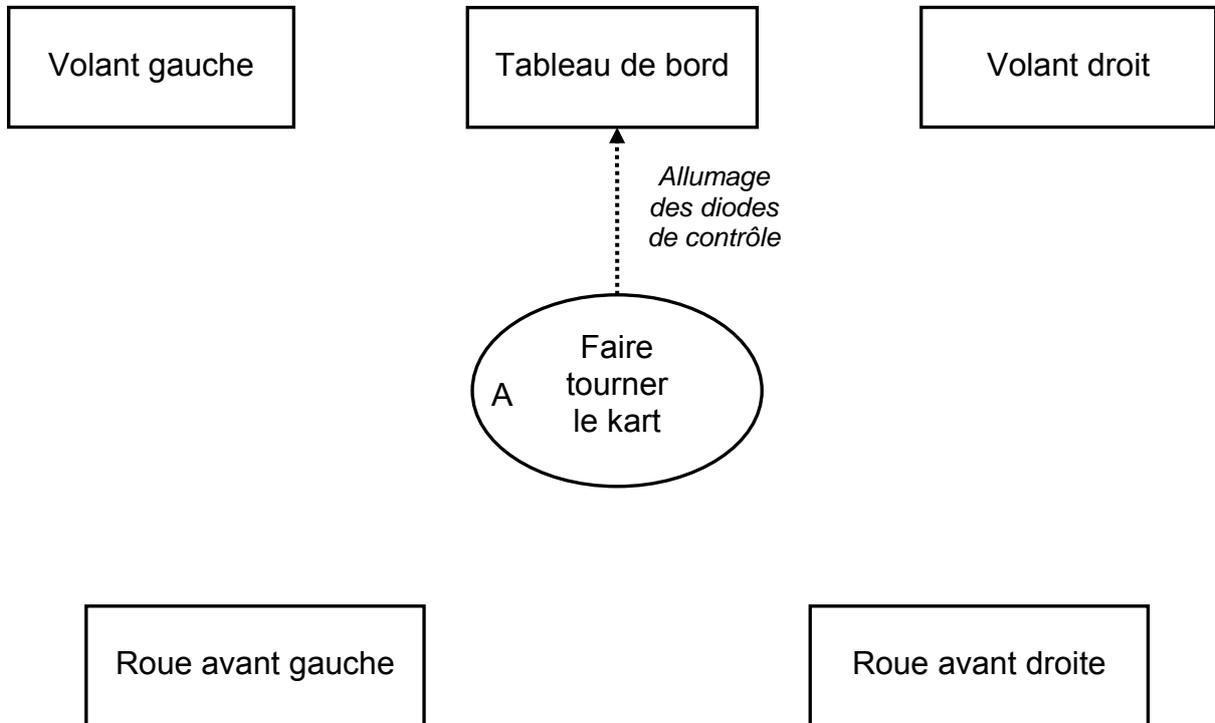
Cette méthode permet d'analyser un problème en le décomposant en sous problèmes afin de trouver une solution exhaustive, n'oubliant aucun aspect du cahier des charges. C'est une méthode d'analyse descendante qui sépare les données des contrôles en une dissociation de plus en plus fine des fonctions à réaliser. Elle utilise des diagrammes pour représenter les fonctions et leurs échanges avec les différentes sources ainsi que des séquenceurs ou des tableaux d'activation pour les spécifications de processus.

Les premiers diagrammes sont les diagrammes de contexte de données (D.C.D.) et de contrôles (D.C.C.). Ils ont tous les 2 la même architecture, c'est-à-dire les mêmes fonctions et les mêmes sources, mais diffèrent par les informations échangées ; leurs représentations sont constituées de flèches continues pour les données et discontinues pour les contrôles. Ces 2 diagrammes permettent de situer le système dans son environnement et de définir les échanges qu'il aura avec l'extérieur.

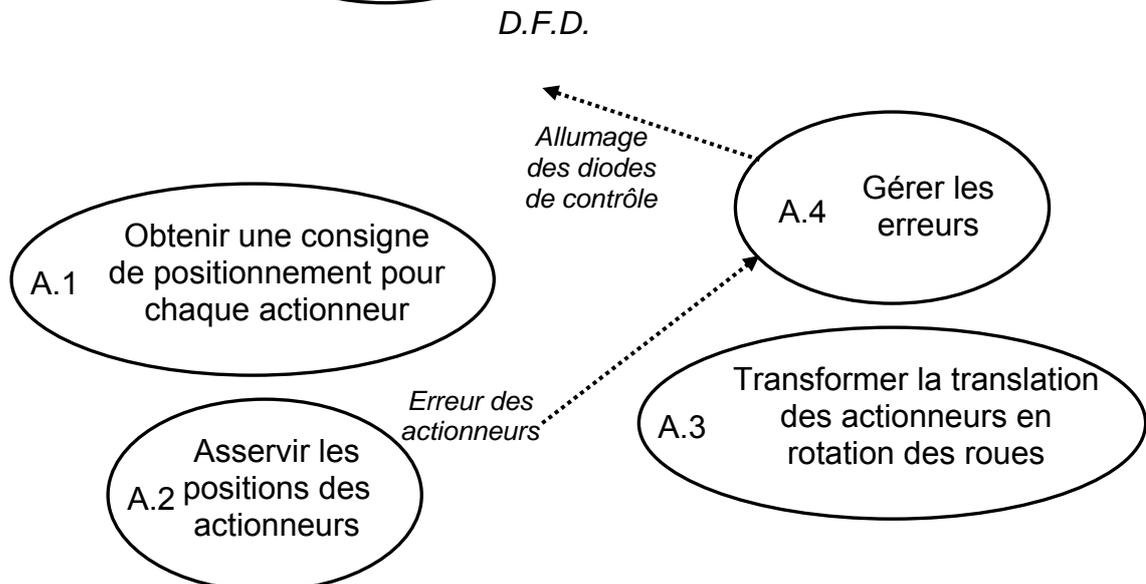
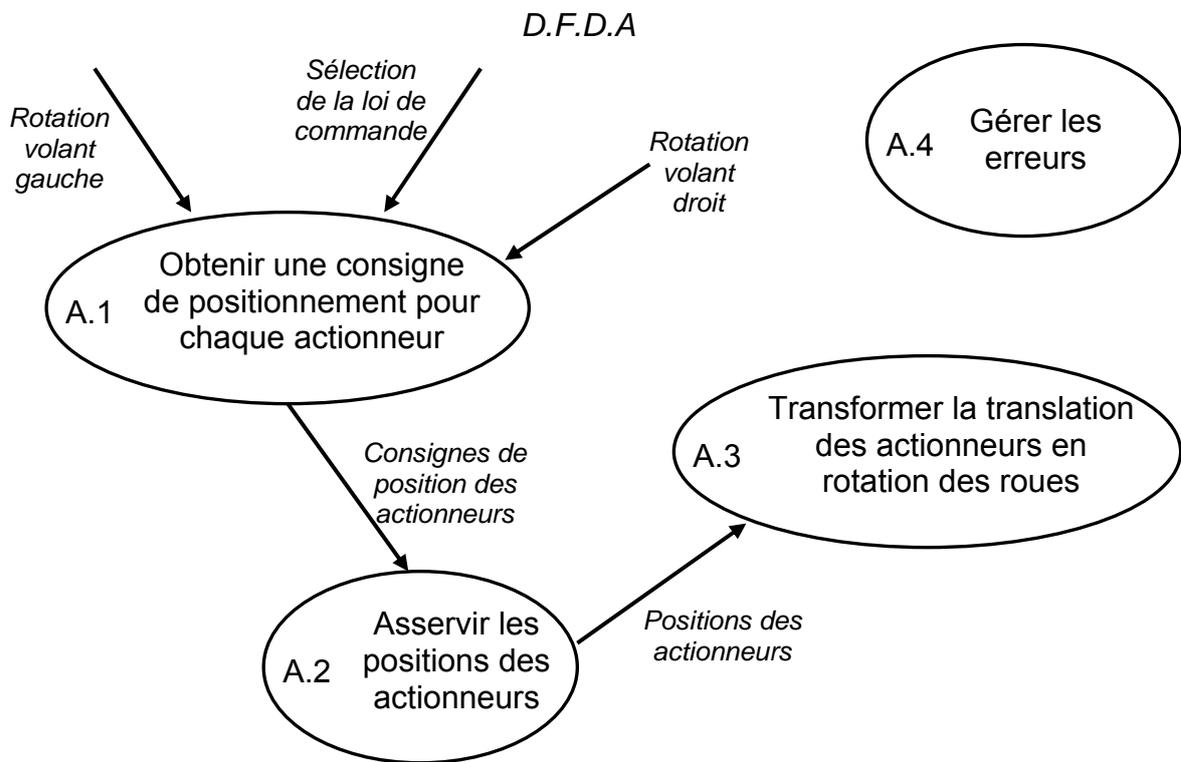
D.C.D.



D.C.C.



Les décompositions suivantes sont appelées diagrammes de flots de données (D.F.D.) et de contrôles (D.F.C.). Ils possèdent également la même architecture et diffèrent par leurs échanges. Chaque fonction du diagramme précédent (D.C.D./D.C.C. ou D.F.D./D.F.C. antérieur) y est alors décomposée en sous fonctions. Les D.F.D./D.F.C. succédant les uns aux autres, le système devient décomposé en fonctions élémentaires clairement identifiées et localisées - pour s'y retrouver, les sous fonctions sont ici identifiées par une numérotation découlant de leurs fonctions respectives. Il peut alors être réalisé avec sérénité, sachant que l'étude S.A.R.T. permet de tout recenser.

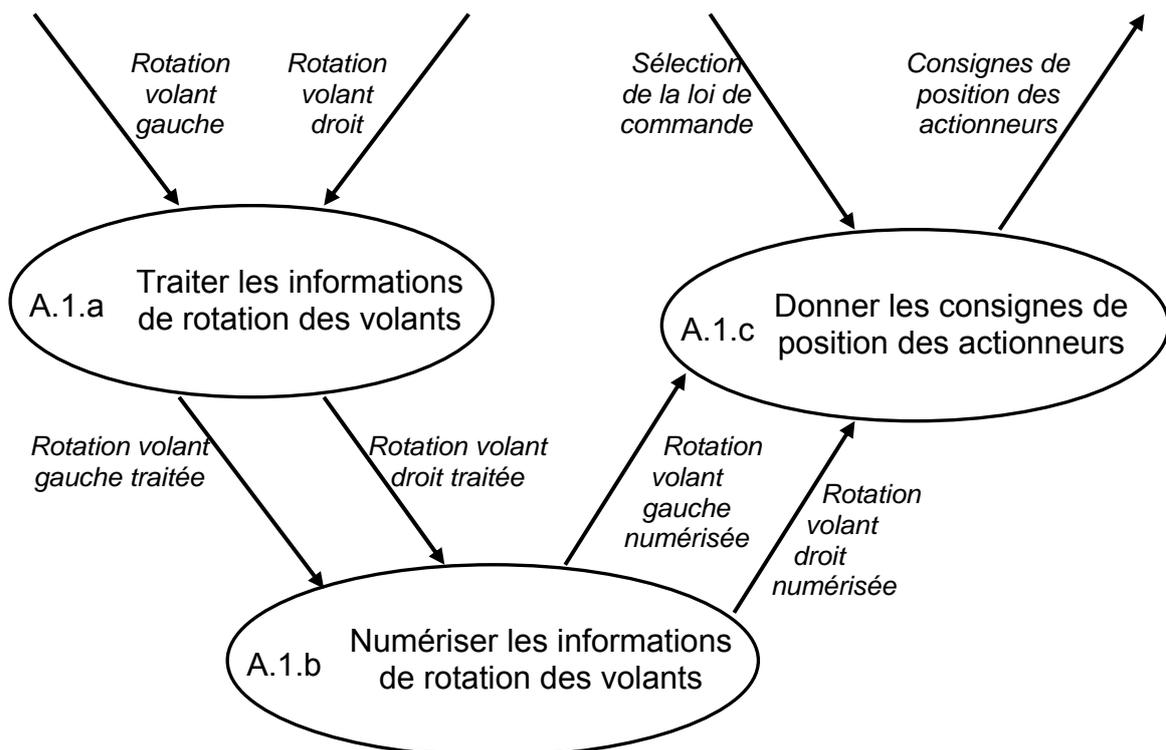


La fonction A.3 "Transformer la translation des actionneurs en rotation des roues" est assurée par le binôme s'occupant de la direction mécanique, il ne sera donc pas détaillé dans ce rapport.

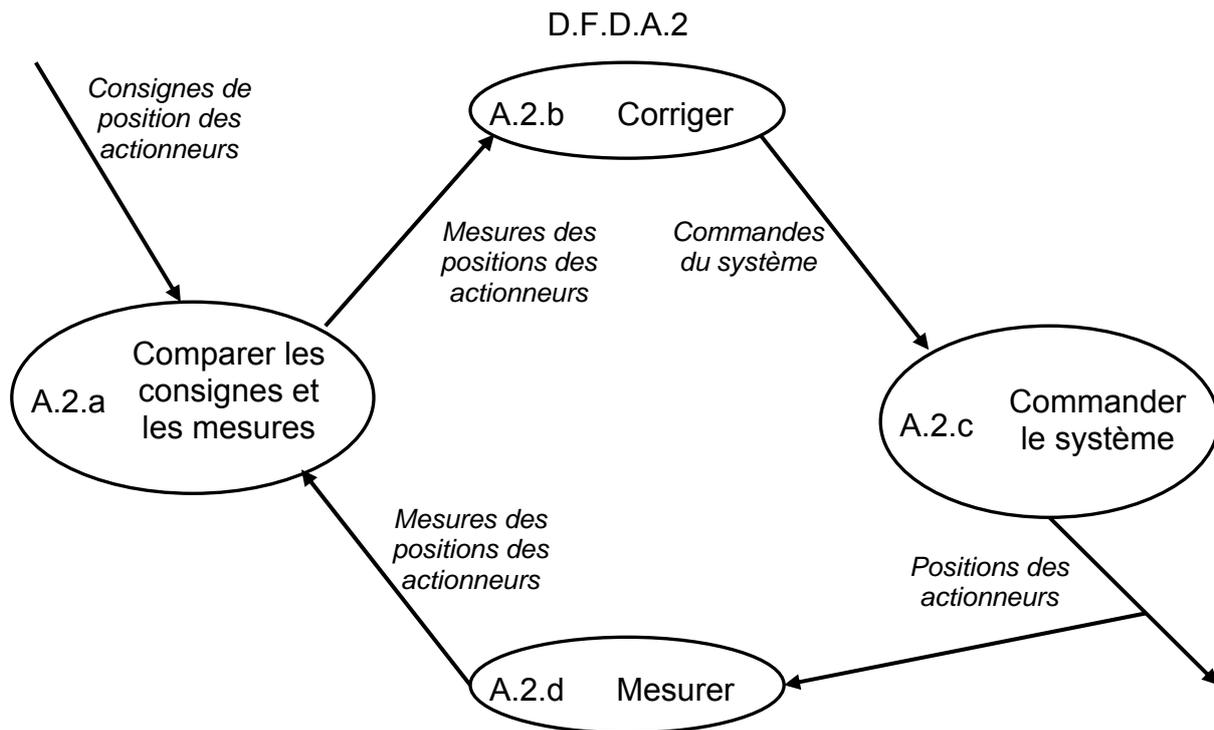
La fonction A.4 "Gérer les erreurs" est une fonction élémentaire dont pourra s'acquitter une tâche du microcontrôleur car il s'agit de mettre à l'état haut ou bas 2 bits de sortie (diode verte et diode rouge) en fonction de 4 bits d'entrée (2 bits par variateurs).

N'ayant d'autres contrôles durant la suite, nous ne représenterons dorénavant que les D.F.D. Décomposons donc les fonctions A.1 et A.2 :

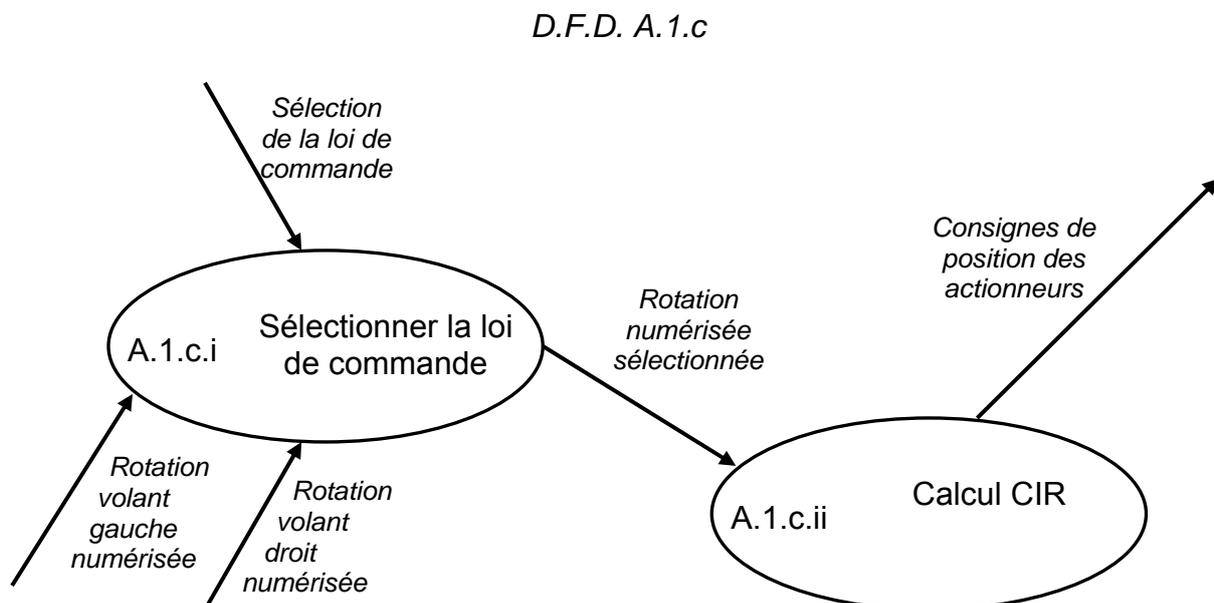
D.F.D. A.1



La fonction A.1.a "Traiter les informations de rotation des volants" sera réalisée par un montage électrique de traitement du signal (cf. 2.4.3). L'A.1.b "Numériser les informations de rotation des volants" sera assurée par le convertisseur analogique / digital du microcontrôleur (cf. 2.5). La dernière fonction, A.1.c "Donner les consignes de position des actionneurs", est détaillée plus loin.



Ce diagramme représente la boucle d'asservissement de la position des actionneurs (cf. 2.2). Les fonctions A.2.a "Comparer les consignes et les mesures", A.2.b "Corriger" seront assurées par des montages électroniques (cf. 2.4.3), en prenant compte des spécifications de commande du système pour la fonction A.2.c, ce système étant composé d'un variateur qui se consacre à asservir la vitesse du moteur du vérin électrique (cf. 2.3). La position des actionneurs sera mesurer à l'aide d'un dispositif à tension linéairement variable afin de s'adapter à la fonction A.2.a.



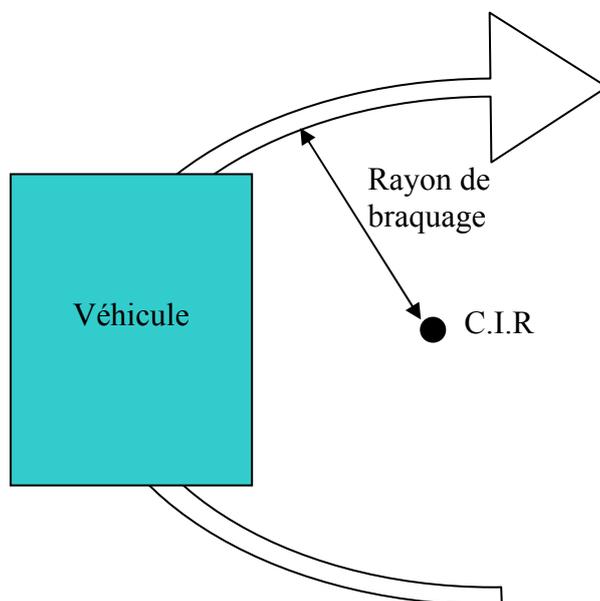
La fonction A.1.c.i "Sélectionner la loi de commande" permet de déterminer quel volant prendra le contrôle de la direction (à moins que ce ne soit les 2 à la fois), elle sera simple à coder dans une tâche du microcontrôleur. L'A.1.c.ii est plus complexe car elle doit fournir les 2 consignes de positionnement des actionneurs en respectant le C.I.R. à partir de la rotation d'un (des) volant(s) ; elle pourra être réalisée par programmation grâce à la relation liant l'angle de la roue extérieure en fonction de celui de la roue intérieure (cf. 1.4) et à la géométrie de la direction - nous verrons son codage par la suite.

2.2. Direction électrique

2.2.1. Etude du Centre Instantané de Rotation (C.I.R)

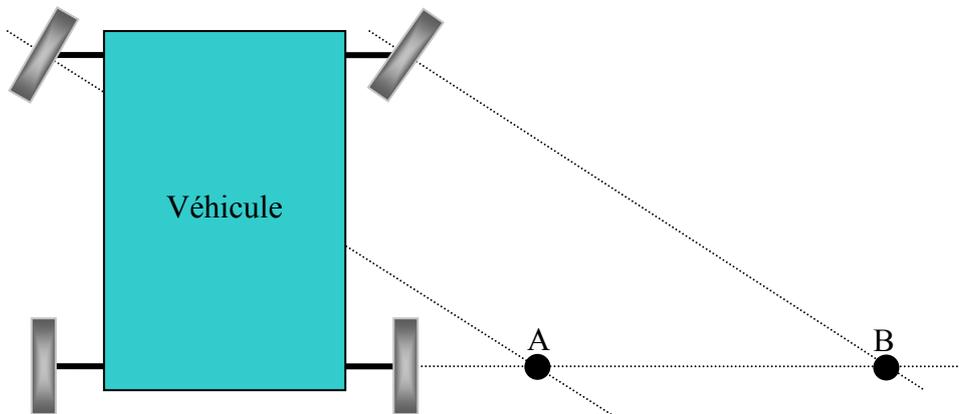
Définition :

Le centre instantané de rotation d'un véhicule (C.I.R) est le point autour duquel le véhicule effectue sa trajectoire.



Le C.I.R est le point d'intersection entre l'axe de rotation de la voie avant et arrière du véhicule.

Véhicule traditionnel à roues directionnelles parallèles



Un véhicule à roues directionnelles parallèles présente 2 C.I.R distincts. En effet, la voie entre les 2 roues de l'essieu avant (distance entre les roues avant) et la distance AB forment un parallélogramme en théorie.

Dans la réalité, le véhicule est un solide indéformable et pourtant il offre une trajectoire dans les virages autour d'un seul et même point.

Le C.I.R est dit instantané car il évolue à tout instant du mouvement.

C'est un phénomène de glissement (roue/sol) qui se produit ou perte d'adhérence. Le glissement est maximum sur la roue présentant la pression de contact la plus faible avec le sol. Inversement, la roue présentant la pression de contact la plus grande reçoit un glissement minimum.

Dans un virage, la roue extérieure reçoit un plus grand transfert de masse que la roue intérieure. Ce qui a pour effet d'augmenter la pression de contact sur la roue extérieure et donc de diminuer la pression de contact sur la roue intérieure, voir dans certain cas de virage très accentué, de faire disparaître le contact de la roue intérieure.

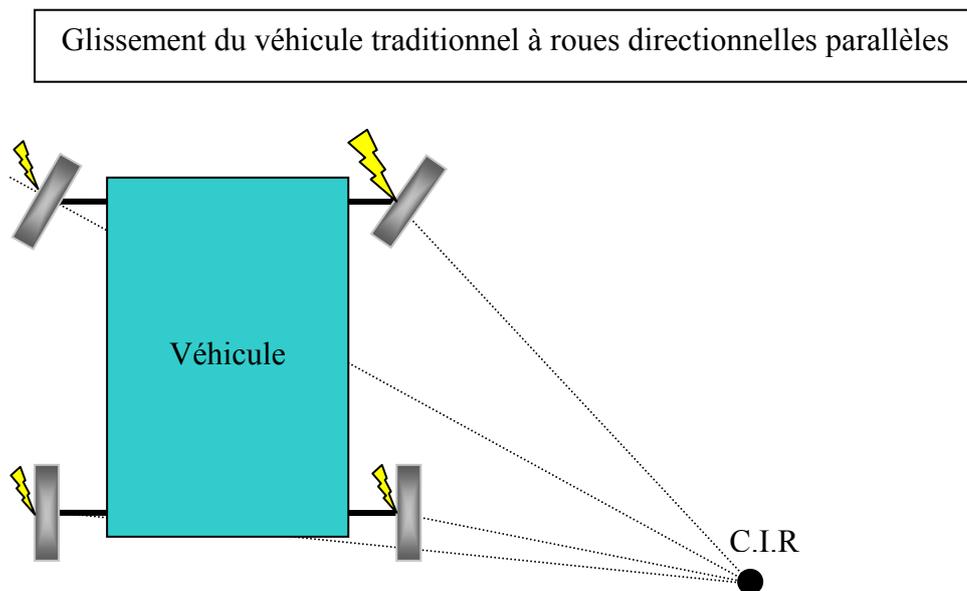
Le glissement de la roue intérieure au virage est donc supérieure a celui de la roue extérieure.

La conséquence directe du glissement pousse le C.I.R du véhicule à se rapprocher au maximum du C.I.R de la roue extérieure.

Le glissement de la roue sur le sol est un problème difficile à mettre en équation par la diversité des paramètres à prendre en compte.

Dans la réalité, le C.I.R du véhicule n'est jamais confondu avec celui de la roue portant la trajectoire (roue extérieure) car le glissement roue/sol est toujours présent même à faible vitesse. De plus, le glissement est fonction de paramètres complexes tel que la nature des matériaux en contact (sol et pneu) et la déformation globale et locale du pneu, l'angle de chasse...

De plus le phénomène de glissement est aussi à prendre en compte sur les roues arrière.



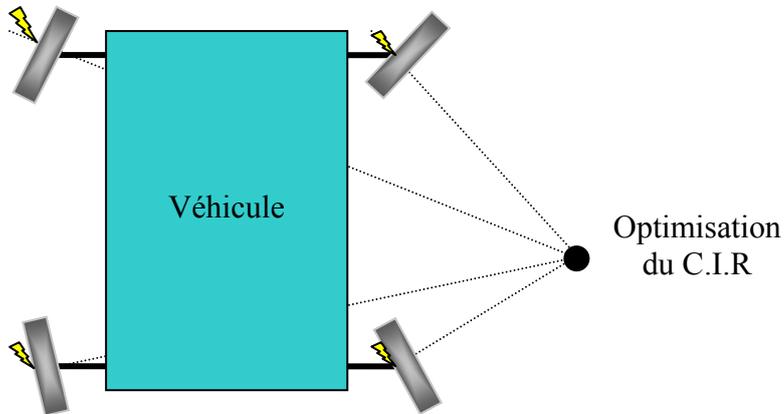
Objectif :

L'objectif de la direction électrique « drive by wire » est d'optimiser la trajectoire du véhicule et de minimiser les phénomènes de glissement roue/sol.

Solution envisagée :

Mettre en place des roues directionnelles indépendantes par l'intermédiaire d'actionneurs électriques.

Véhicule à roues directionnelles indépendantes



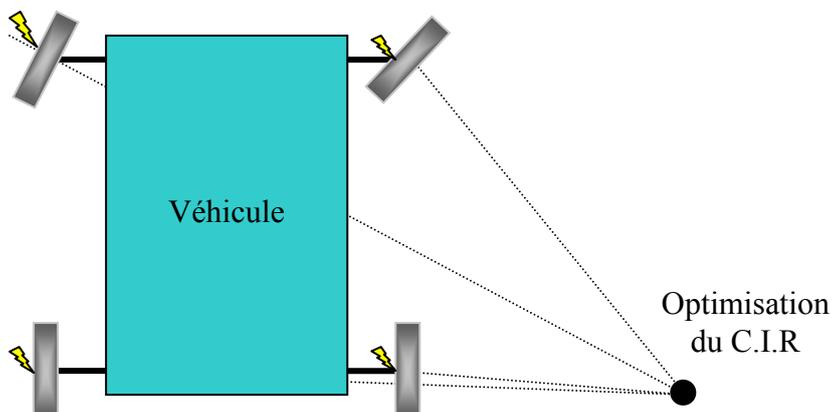
Conséquence :

- Meilleure trajectoire (diminution du rayon de braquage)
- Diminution du glissement (meilleure adhérence)

Limite de l'étude :

Notre étude se limitera à la mise en place de roues directionnelles indépendantes uniquement sur la voie avant du véhicule afin de satisfaire l'échéancier imposé (100 heures). L'étude de 4 roues directionnelles indépendantes fera l'objet de futurs projets.

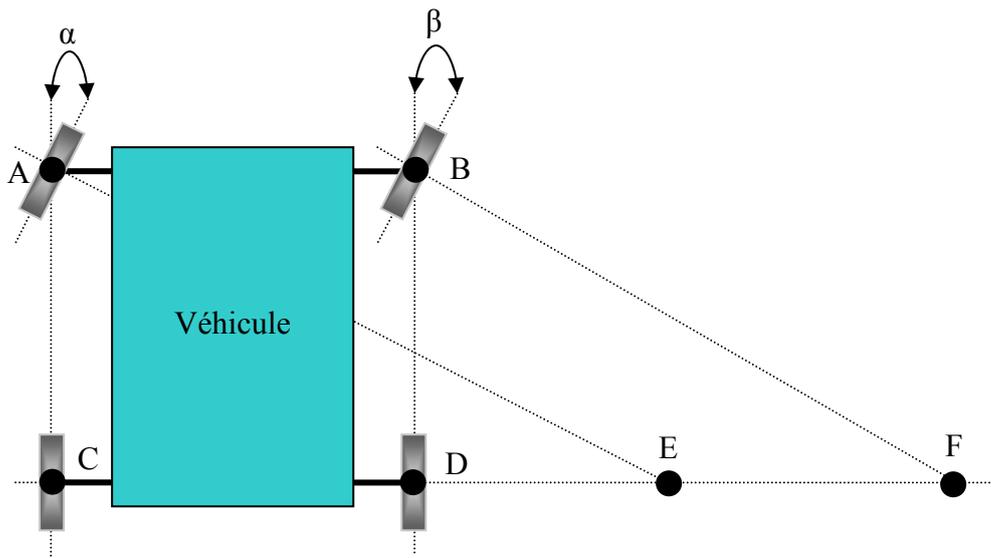
Roues directionnelles avant indépendantes



Quel doit être l'angle de braquage de chacune des roues directionnelles ?

Hypothèse :

- Le glissement est négligé.
- $AB = CD = 1280$ mm
- $CA = BD = 1200$ mm



$\text{Tang } (90^\circ - \alpha) = DF/DB$ et $\text{Tang } (90^\circ - \beta) = CE/AC = (CD + DE)/AC$

On veut que le point E soit confondu avec le point F $\rightarrow DE = DF$

$DF = DB \cdot \text{Tang } (90^\circ - \alpha)$

$DE = [AC \cdot \text{Tang } (90^\circ - \beta)] - CD$

$\rightarrow DB \cdot \text{Tang } (90^\circ - \alpha) = [AC \cdot \text{Tang } (90^\circ - \beta)] - CD$

$$\alpha = 90^\circ - \arctang \left[\frac{[AC \cdot [\text{Tang } (90^\circ - \beta) - CD]]}{DB} \right]$$

Par hypothèse $AC = DB$;

En valeur absolue :

$$\alpha = 90^\circ - \arctang \left[\left| \frac{[\text{Tang } (90^\circ - |\beta|) - CD] - (CD / DB)}{1} \right| \right]$$

$\alpha = f(\beta)$ est fonction de 2 paramètres géométriques du kart:

- l'empattement AC
- la voie AB = CD

Nous connaissons maintenant la valeur α en f (β) qui devra être calculée en instantané par notre microcontrôleur afin d'obtenir un C.I.R optimisé et adapté aux dimensions géométriques de notre kart.

Problème :

Le microcontrôleur doit calculer en instantané **α en f (β)** nécessitant **un temps de calcul important** sur l'intervalle de braquage défini dans le cahier des charges (+/- 30°).

Solution envisagée:

- **Echantillonner les valeurs de α en f (β).**
- **Attribuer une table de concordance de valeurs donnant une valeur de α en f (β).**

Application :

Cette table de concordance de valeur est appelée « Look Up Table » (L.U.T).

Pour calculer les valeurs de α en f (β) nous avons fait appel au tableur Excel. Le pas d'échantillonnage retenu est de 1° , offrant une précision de conduite suffisante.

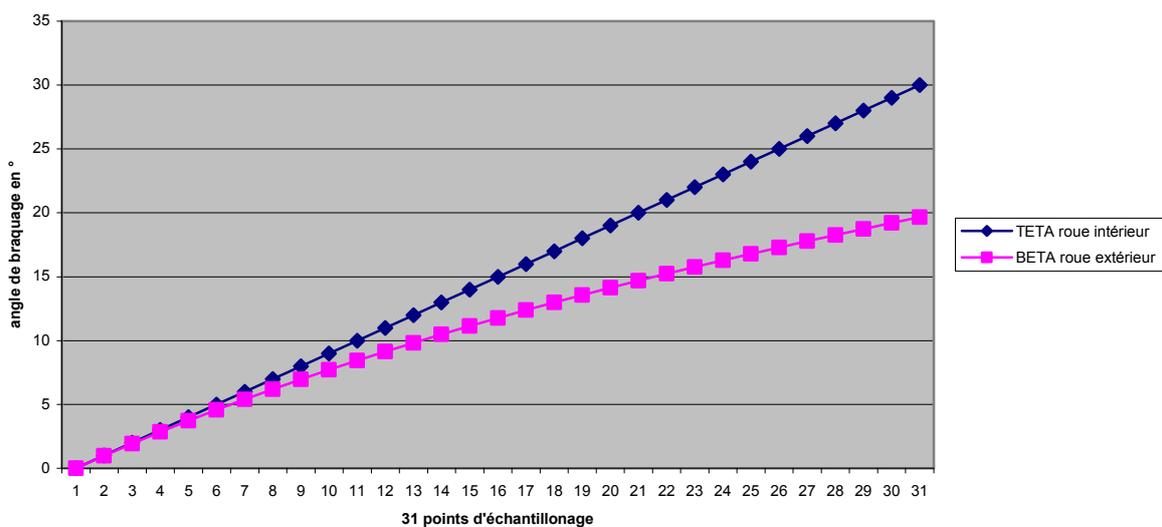
Les tables de valeurs sont re-calculables aisément avec un pas d'échantillonnage plus fin à l'aide du tableur Excel (cf. CDRROM : Calcul CIR / teta f beta).

L.U.T

| α | β |
|----------|---------|
| 0.98 | 1 |
| ⋮ | ⋮ |
| 19.66 | 30 |

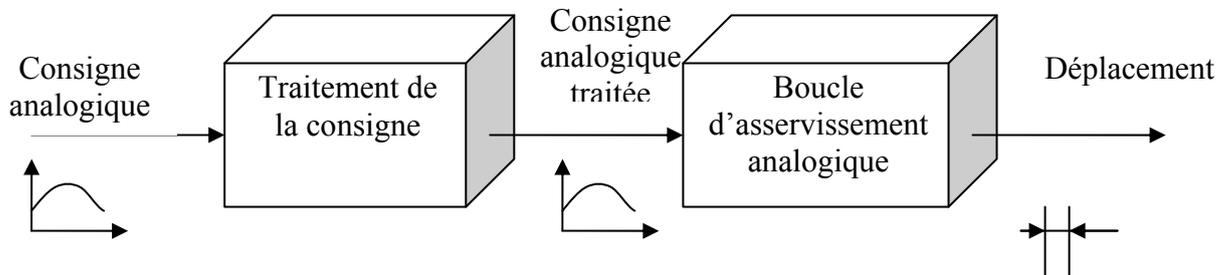
Graphiquement :

LUT



2.2.2. Architecture

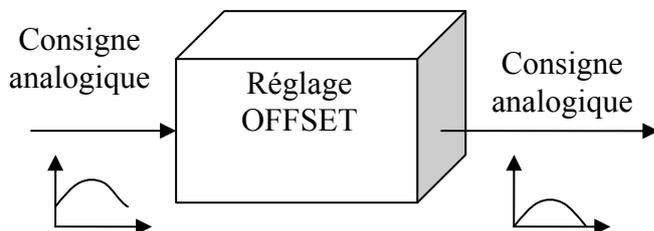
Dans un premier temps, l'architecture de la direction électrique se décompose en 2 grandes parties : Le **traitement de la consigne** et une **boucle d'asservissement**.



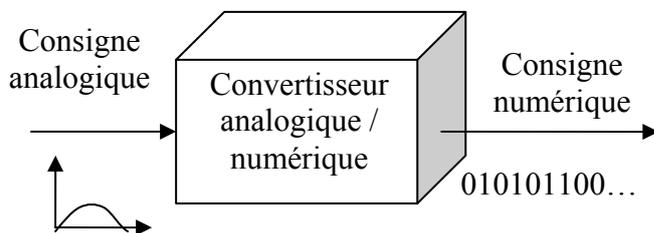
Le traitement de la consigne est divisé en 4 étapes :

- Réglage des OFFSET
- Convertisseur Analogique / Numérique
- Traitement numérique (loi de commande, CIR...)
- Filtrage

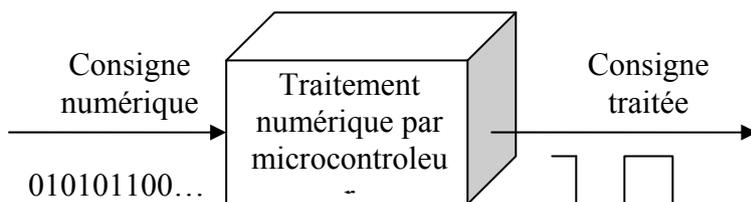
Réglage des OFFSET



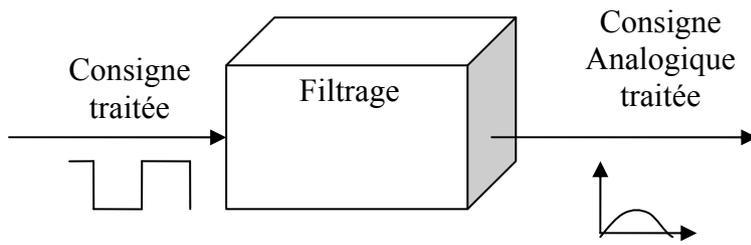
Convertisseur Analogique / Numérique



Traitement numérique (loi de commande, CIR...)



Filtrage



Toute la partie expliquant le **traitement de la consigne** est développée dans le **chapitre 2.4 étude électronique**.

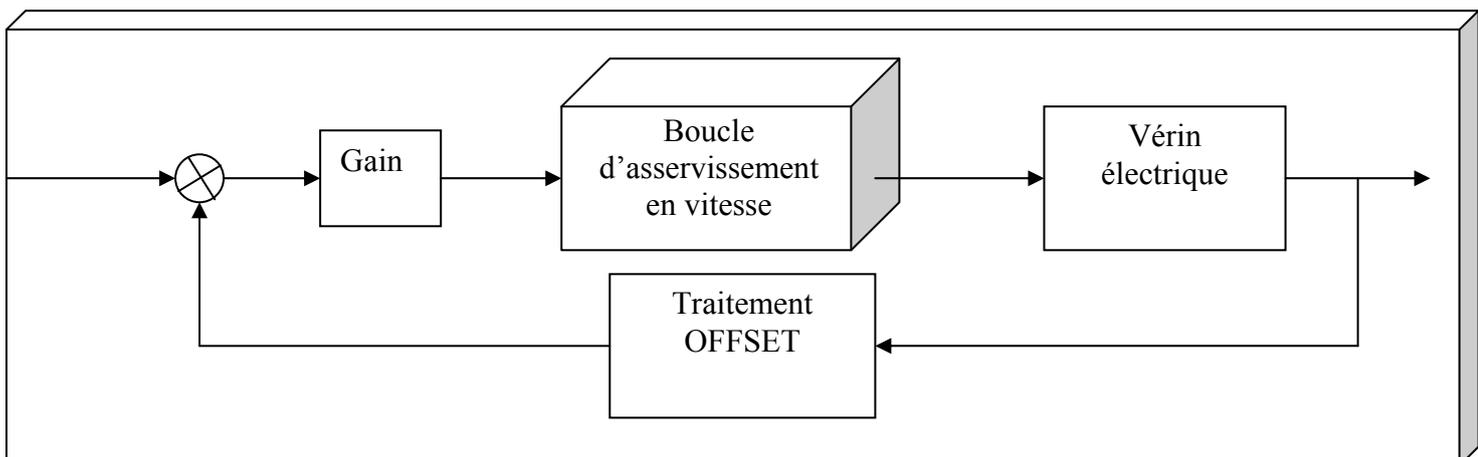
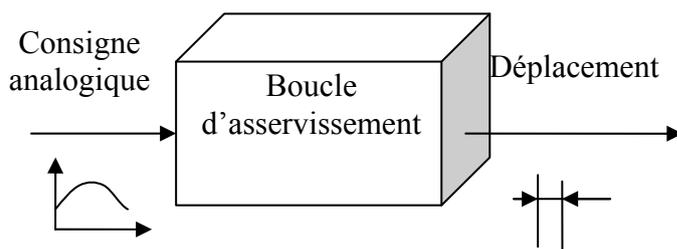
La **partie asservissement** est présentée dans le **chapitre 2.3 suivant, étude électromécanique**.

2.3. Etude électromécanique

L'étude électromécanique de la direction électrique est développée dans ce chapitre. Elle présente la configuration de l'**asservissement** conçu ainsi qu'une présentation des actionneurs de type **servomoteur** et les capteurs de position de type **transducteur linéaire**.

2.3.1. Asservissement

Nous désirons concevoir une boucle d'asservissement en position.



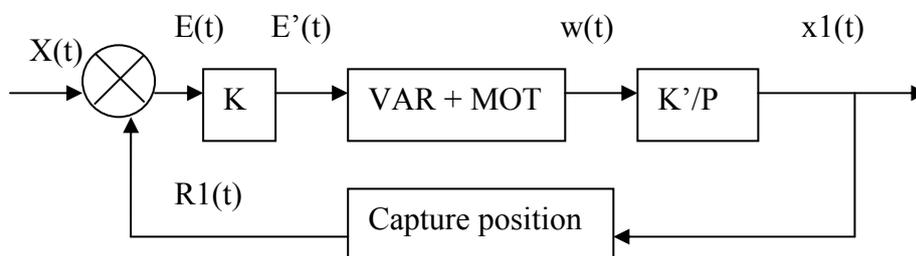
La boucle d'asservissement en vitesse est constituée d'un ensemble variateur + servomoteur (cf. 2.3.2. Servomoteur).

Le retour de position envoyé au comparateur est réalisé par un capteur transducteur linéaire (cf. 2.3.3. Transducteur linéaire).

La partie vérin électrique est présentée par l'équipe chargée de la direction mécanique.

Le traitement OFFSET + calibrage du signal de retour de position est présenté dans la partie réglage OFFSET (cf. 2.3.4. Réglage OFFSET) et dans le chapitre électronique (cf. étude électronique).

Synoptique de l'asservissement pour une roue :



Dans un premier temps, **l'asservissement est du type PI**, car un correcteur de type PID amplifierait les bruits ou parasites des signaux et rendrait le système instable.

Cette chaîne d'asservissement réalisée à l'aide d'A.O.P est présentée **dans le chapitre 2.4 étude électronique.**

2.3.2. Servomoteur

Le choix du servomoteur est très judicieux car il doit répondre aux caractéristiques suivantes :

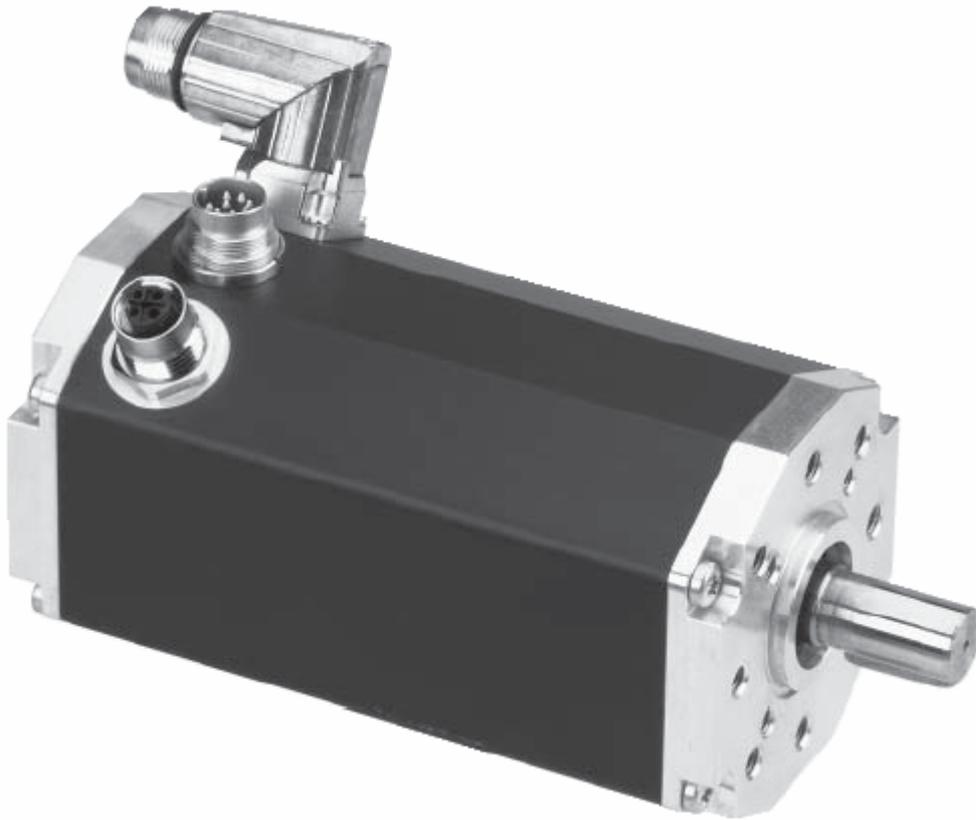
- alimentation en 48 Volts continu
- être compacte
- présentant un couple mini de 1N/m
- compatible avec un variateur de même calibre
- vitesse nominale 3500 tr/min
- puissance ~ 500 Watt

Ces données ont été établies en collaboration avec l'équipe de direction mécanique.

En travaillant **en collaboration avec la société MDP** (Cf. CDROM coordonnée), nous avons choisi un **servomoteur avec variateur intégré**.

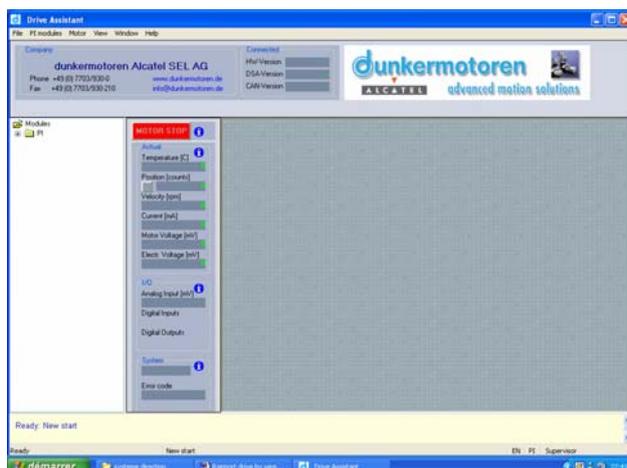
Ceci offre l'**avantage d'un gain de poids, de place et de connectique incontournable**.

Le servomoteur est un BG75PI car il offre tous ces avantages pour notre application.



Toutes les explications sont définies dans la documentation constructeur (Cf. CDROM / DOCUMENTATION / BG75PI).

De plus, la chaîne de développement est très rapide à prendre en main (Cf. CDROM Dunkermotoren Drive assistance).



2.3.3. Transducteur linéaire

Nous avons choisi un capteur analogique de type Transducteur linéaire habituellement utilisé sur des machines outils.

Effectivement, ce sont des capteurs qui ont été conçus pour résister aux vibrations et délivrer un signal propre. Il accepte aussi une accélération et un nombre de manœuvre important (Cf. CDROM / DOCUMENTATION / doc capteur linéaire).

GEFRAN **LT** TRANSDUCTEUR RECTILIGNE DE POSITION



Caractéristiques générales

- *Le transducteur a encore été optimisé afin de garantir une plus grande fiabilité dans toutes les conditions d'utilisation*
- *Grâce à sa structure renforcée, la série LT est encore plus résistante et mieux adaptée aux applications qui présentent de fortes vibrations*
- *L'installation est simplifiée, grâce à l'absence de variations du signal électrique de sortie, en dehors de la Course Electrique Théorique*
- *La nouvelle rainure représente une solution alternative intéressante par rapport au système de fixation traditionnel à l'aide de brides*
- *Idéal pour les applications sur les presses à injection du plastique ou verticales ainsi que sur de nombreuses machines destinées à l'usinage des matériaux*

2.3.4. Réglage OFFSET

[Réglage des OFFSET : \(cf. CDROM : schéma de câblage / OFFSET\)](#)

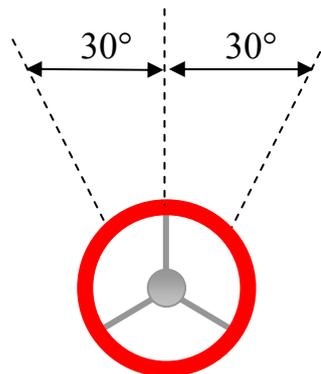
Les capteurs de position des actionneurs de direction et les potentiomètres de direction ont besoin d'une plage d'utilisation inférieure à leur capacité de déplacement.

En effet, se sont des capteurs analogiques qui fonctionnent en 0-5 Vcc dont la tension de réponse sera ensuite utilisée de 2 façons :

- convertie par le Convertisseur Analogique – Numérique (CAN) du microcontrôleur, pour les potentiomètres des volants, afin de réaliser un traitement numérique pour l'utilisation de différentes lois de commande.
- comparée à la consigne de positionnement par le comparateur de la chaîne d'asservissement pour les capteurs de positions (transducteurs).

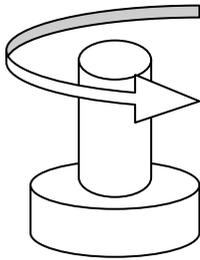
Situation :

L'angle de braquage voulu est de +/- 30° :

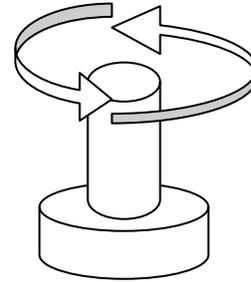


Les potentiomètres vendus dans le commerce sont mono ou multi tours :

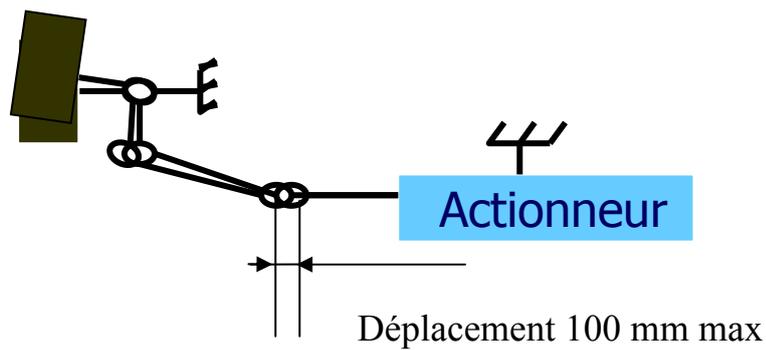
Mono tour



Multi tour



Le déplacement à mesurer par les transducteurs est de 100 mm :



La plage de fonctionnement (cf. CDROM : Documentation/ doc capteur linéaire fra) des transducteurs est de 130 mm afin d'éviter une détérioration de « sur-course » suite a un mauvais montage :



Objectifs :

- Utiliser les potentiomètres sur une plage de 60° avec une réponse variant de 0 à 5 Vcc.
- Utiliser les transducteurs linéaires sur une plage de 100 mm avec une réponse variant de 0 à 5 Vcc.

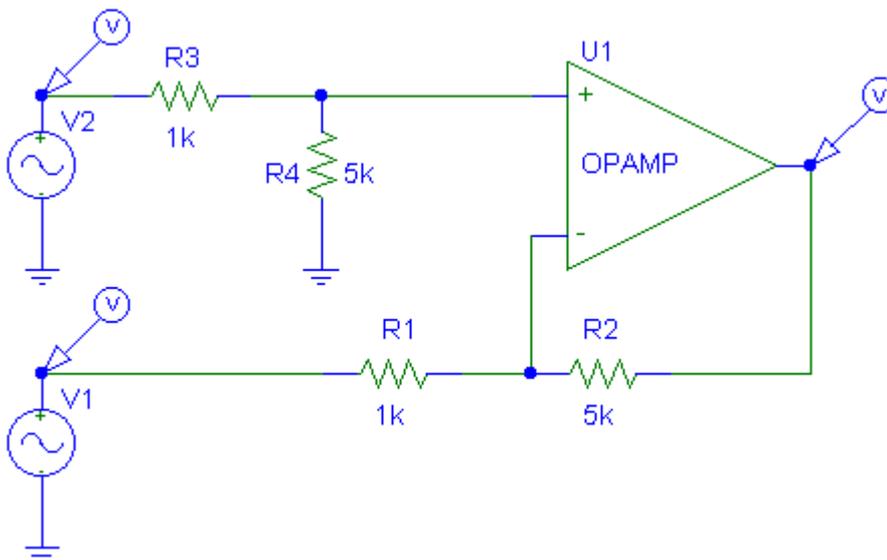
Solution :

Effectuer un traitement analogique de la réponse des capteurs analogiques à l'aide de montage à amplificateurs opérationnels A.O.P afin de pouvoir :

- Régler la réponse à 0 Volts en position minimum de la course
- Régler la réponse à 5 Volts en position maximum de la course

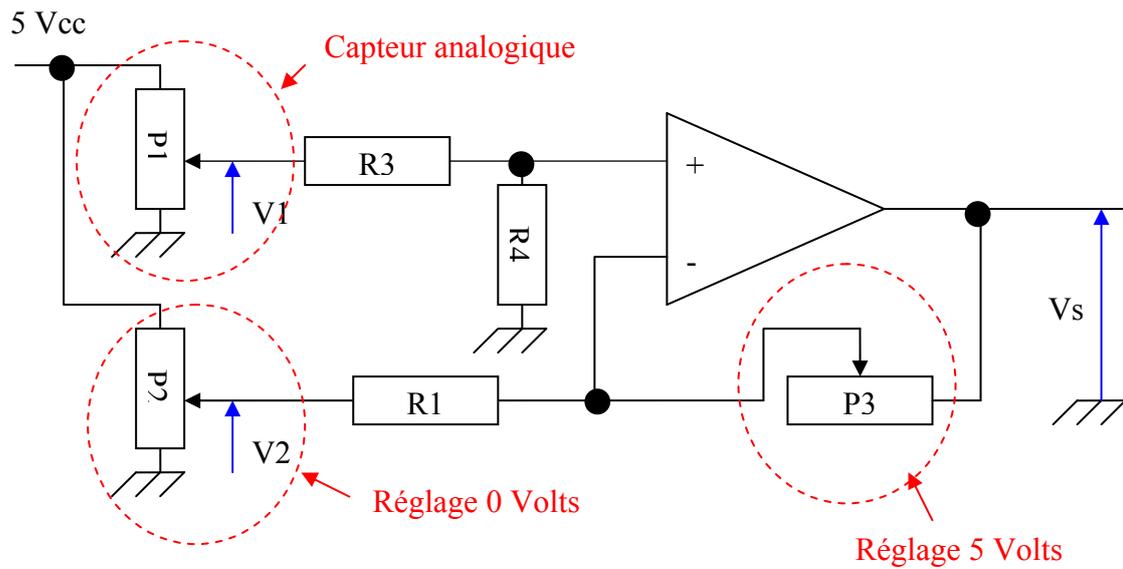
Application :

On utilisera des AOP en montage soustracteur :



Ce montage permet d'amplifier la différence de 2 signaux. On pose généralement comme condition : $R1 = R3$ et $R2 = R4$. On a alors en sortie la différence des 2 signaux d'entrée $(V2-V1)$ multipliée par le gain $(R4/R3$ ou $R2/R1)$.

Dans notre cas, la tension $V1$ est réglable via un potentiomètre afin de soustraire $V1$ à $V2$ jusqu'à obtenir 0 Volts à la position minimum et également le gain $R2/R1$, via une résistance variable, permettant d'obtenir 5 Volts à la position maximum du déplacement du capteur analogique.



$$V_s = (V_1 - V_2) \times (R_2 / R_1)$$

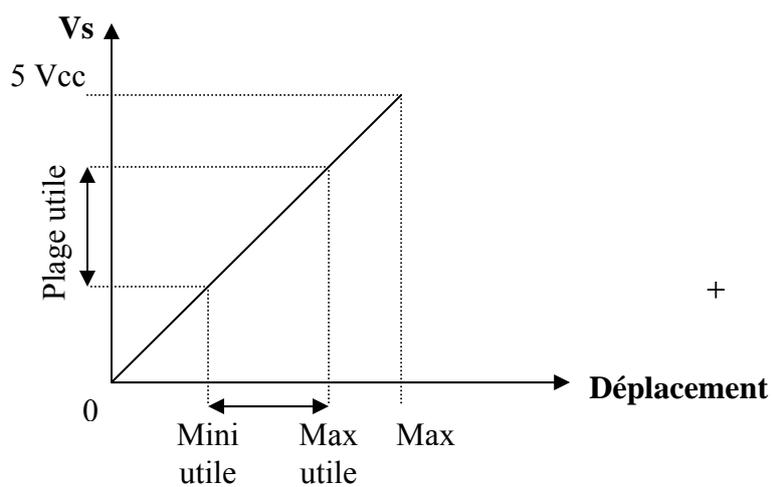
$$R_1 = R_3 = 1 \text{ K}\Omega$$

$$R_4 = 5 \text{ K}\Omega$$

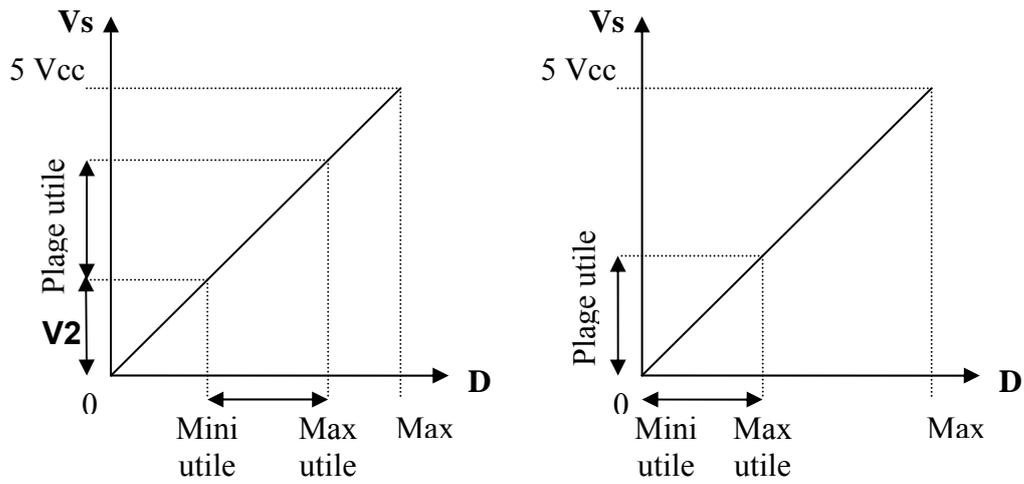
$$P_3 = P_2 = 5 \text{ K}\Omega$$

Réglage :

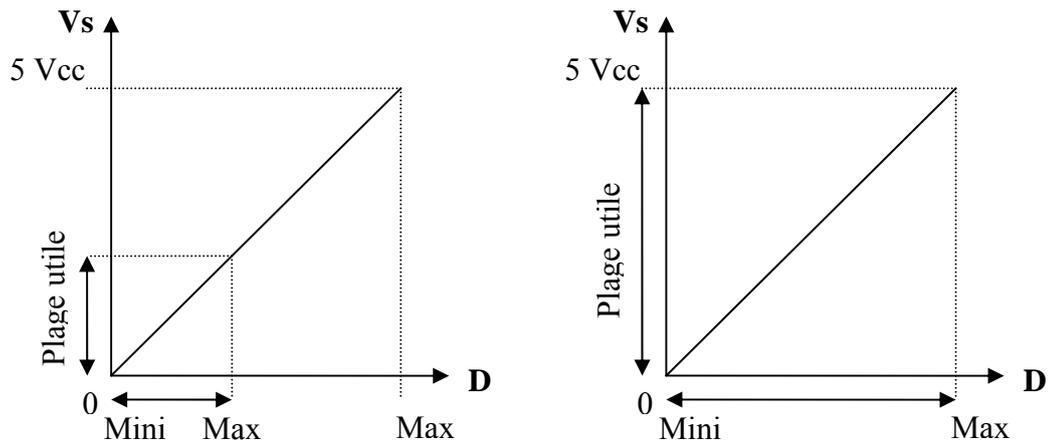
- $V_2 = 0 \text{ volts}$ et $P_3 = R_3$ (gain unitaire) $\rightarrow V_s = V_1$



- Soustraction par le potentiomètre P2 : on fait varier V2 afin de régler le 0 volts



- Amplification par le potentiomètre P3 : on augmente le signal V_s jusqu'à 5 Volts par le rapport d'amplification R_4/P_3 en variant P3

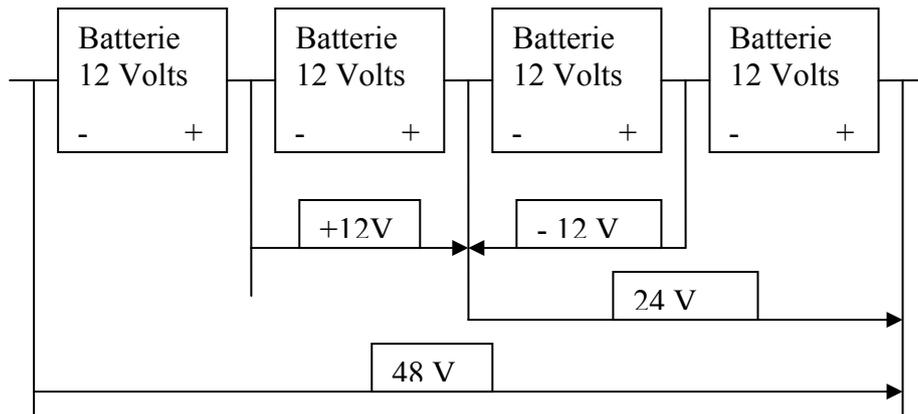


2.4. Etude électronique

2.4.1. Alimentation

3 tensions continues sont nécessaires :

- 48 V ; + 12 V ; 24V et - 12 V.



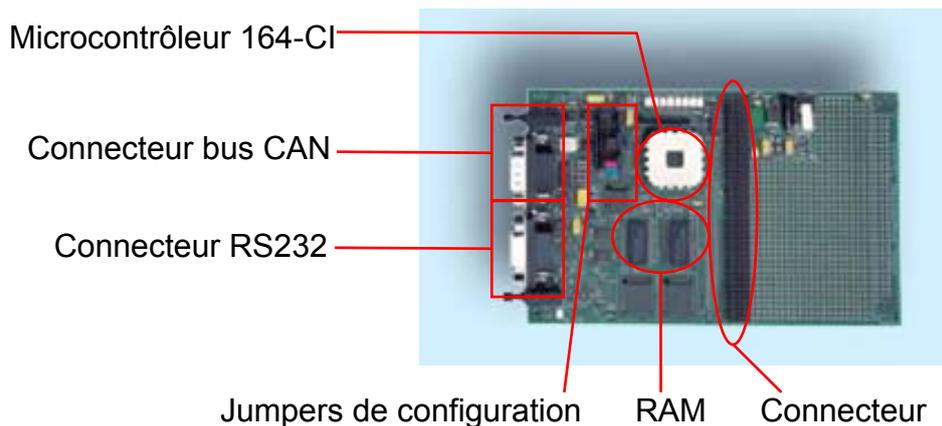
2.4.2. Microcontrôleur

La relation liant la consigne de rotation des roues venant des volants analogiques aux positionnements des actionneurs est une fonction de trigonométrie lourde. Il est donc nécessaire de numériser les valeurs des tensions des volants analogiques et d'effectuer ce calcul en temps réel afin d'envoyer des consignes de positionnements adaptées aux boucles d'asservissement des positions des actionneurs.

Nous avons utilisé un microcontrôleur Siemens KC164CI monté sur une carte Phytex KitCon 164CI car nous connaissions déjà la chaîne de développement - grâce au "microprojet" effectué en Master 1 d'asservissement de la valeur moyenne de la tension aux bornes d'une charge - ainsi que le système d'exploitation temps réel embOS étudié en Master 2.

Il possède les caractéristiques suivantes :

- contrôleur 16 bits CMOS mono puce
- 64 Kilobits SRAM
- 256 Kilobits Flash
- chargeur Bootstrap on-chip
- génération on-board pour programmation de la tension pour mémoire OTP on-chip
- convertisseur A/N 8 voies avec résolution sur 10 bits
- interface série RS-232 vers DB9
- trois unités contenant des timers et pouvant générer des signaux de type créneau sur des sorties
- des entrées pouvant générer des interruptions

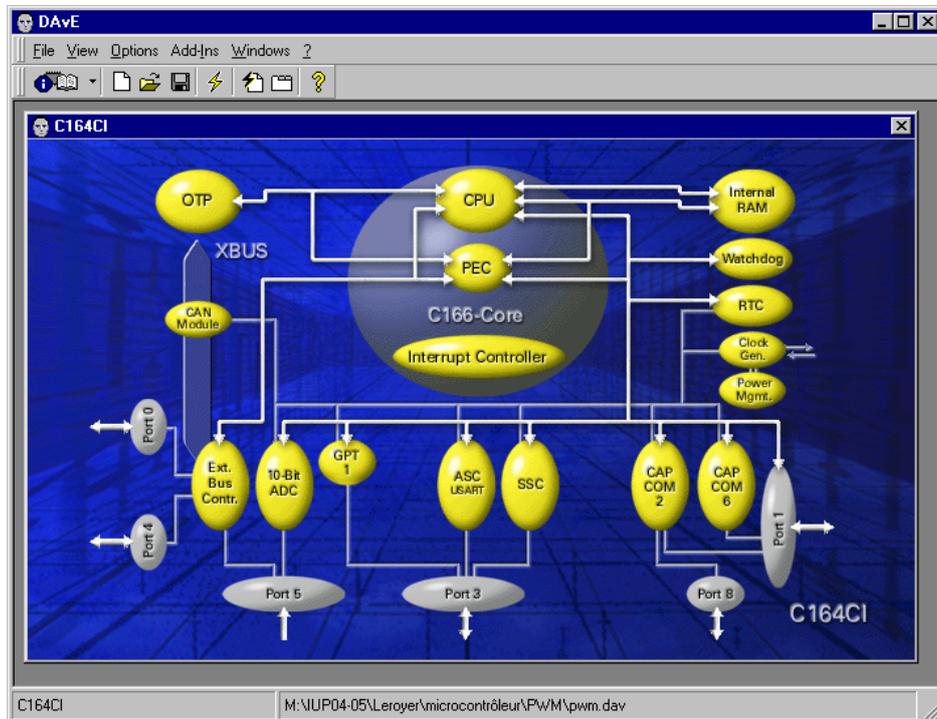


La chaîne de développement est constituée de deux principaux logiciels qui permettent respectivement de configurer puis de programmer le microcontrôleur.

Le premier, DAVE (pour Digital Application Virtual Engineer) développé par Infineon Technologies, présente une interface visuelle représentant les unités d'un microcontrôleur (C164CI dans le cas présent), c'est-à-dire sa structure interne.

Il permet de configurer ses ports d'entrées/sorties et ses paramètres internes par l'intermédiaire de case à cocher dans des fenêtres de type Windows® qui s'ouvrent en cliquant sur l'unité à configurer.

Fenêtre du logiciel de configuration Dave

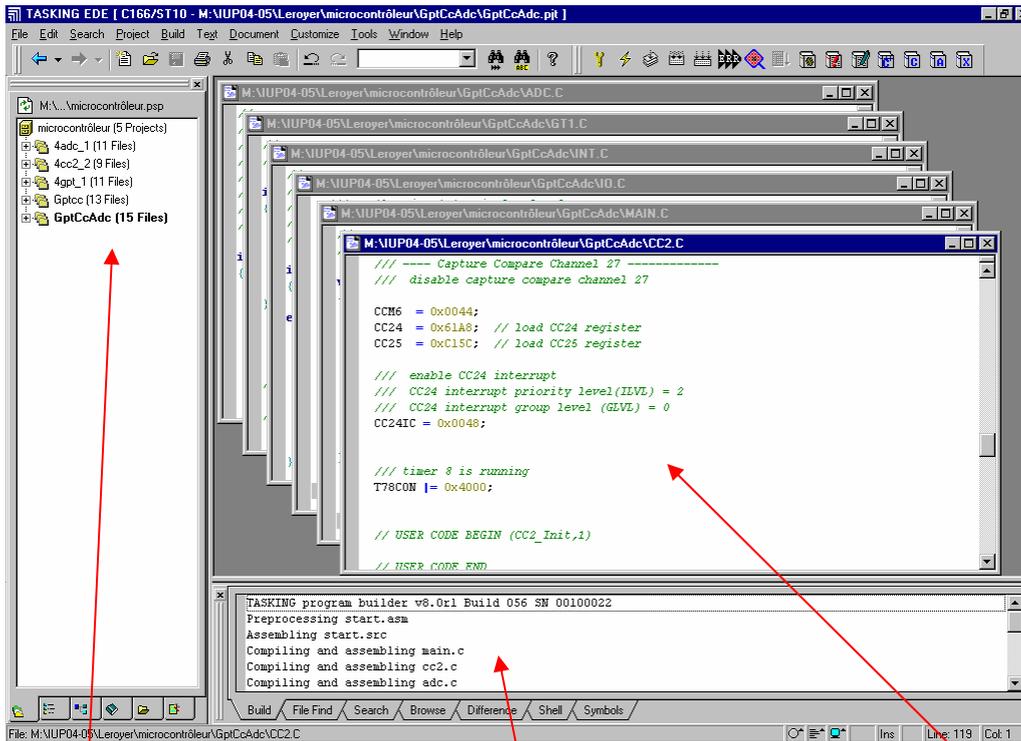


Lorsque tous les paramètres sont sélectionnés, DAVE génère les programmes d'initialisation de chaque partie du microcontrôleur en langage C.

Il faut ensuite les compléter en fonction des applications souhaitées sur le deuxième logiciel : Tasking EDE (Embedded Development Environment).

Celui-ci compile et lie les programmes puis transfère le programme principal au microcontrôleur afin de les déboguer en le lançant dans la fenêtre du moniteur CrossView.

Fenêtre du logiciel Tasking compilateur et éditeur de liens

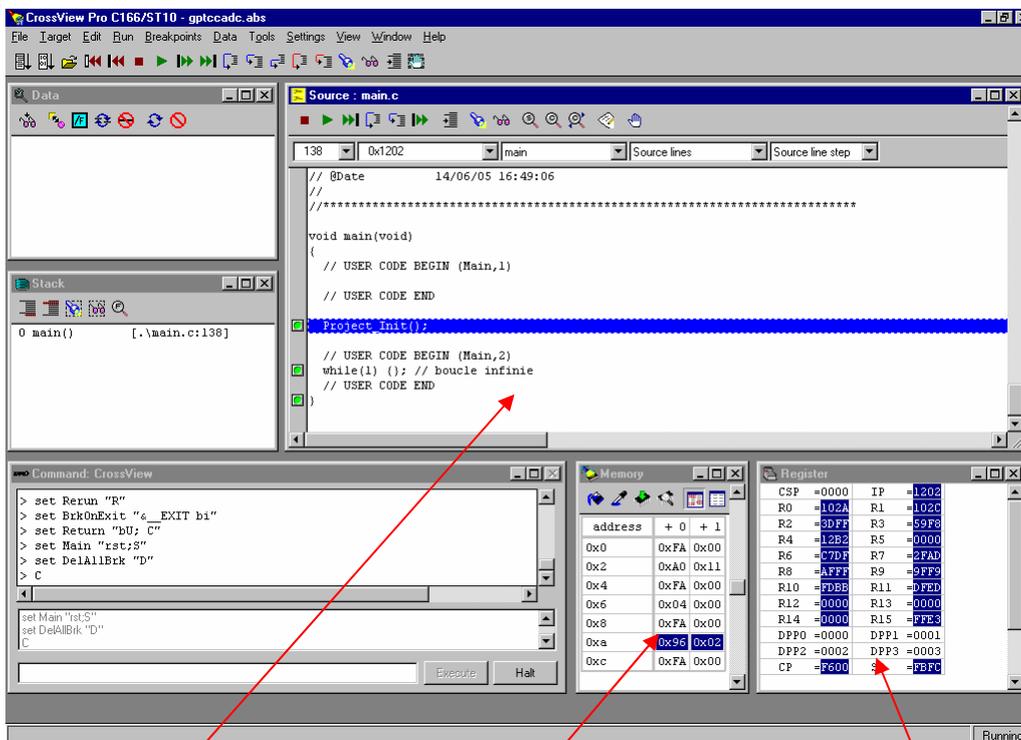


Projet en cours

Compte rendu de compilation

Programmes

Fenêtre du moniteur de dialogue avec le microcontrôleur



Programme en cours

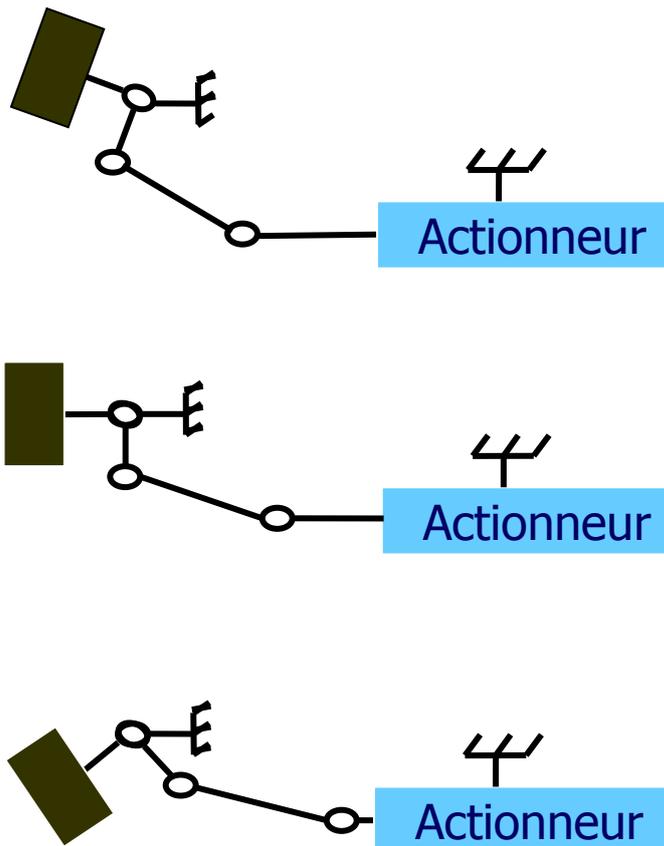
Contenu mémoire

Etat des registres

Pour notre application, nous utilisons donc en premier lieu le convertisseur analogique / digital (CAD ou ADC en anglais), dont les huit voies d'entrée se situent sur le port 5, afin de numériser les consignes des volants connectés aux pins P5.0 et P5.1.

Le convertisseur ne convertit les tensions que sur 10 bits (donc renvoie un nombre entier compris entre 0 et 1023) et la fonction qui relie les consignes des volants aux positions des actionneurs est complexe, c'est pourquoi nous avons choisi d'échantillonner ce calcul sur 1024 valeurs. Cela permet d'éviter le retard induit par le calcul perpétuel des consignes de positionnement à envoyer, tout en gardant la résolution maximale du ADC (pour nos essais nous nous sommes limités à seulement 64 valeurs pour vérifier le bon fonctionnement sans avoir à taper 1024 valeurs hexadécimales).

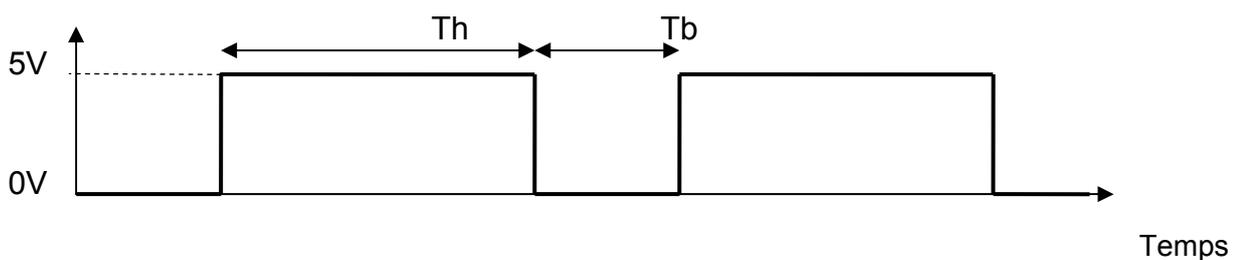
Ces échantillons sont rentrés dans un tableau, la "Look Up Table", dont le numéro de case correspond à la conversion de la consigne d'entrée et le contenu de case correspond à la consigne de positionnement des actionneurs, traduite sur 16 bits. Elle est construite à partir des valeurs du C.I.R. (cf. 1.4) et de la géométrie de la direction telle que, pour un positionnement nul, sa première case contient 0000_h (zéro en hexadécimal), pour le positionnement maximal - 100 mm - sa dernière case contient $FFFF_h$, soit 65535, avec la case numéro 512 (en son milieu) contenant la valeur correspondante au positionnement des actionneurs où les roues sont droites. Ainsi, le(s) pilote(s) iront tout droit avec le volant en position médiane et la course des actionneurs sera entièrement utilisée lors des virages les plus serrés, quand le(s) volant(s) sera (seront) en butée.



| Numéro de case | Look Up Table |
|----------------|---------------|
| 1023 | FFFF |
| . | . |
| . | . |
| 512 | 9703 |
| . | . |
| . | . |
| 0 | 0000 |

Le microcontrôleur ne disposant pas de convertisseur numérique / analogique, nous nous servons des timers 7 et 8 de l'unité Capture Compare 2 (CapCom2) pour générer des trains d'impulsions dont les rapports cycliques - c'est-à-dire le rapport entre le temps à l'état haut et celui à l'état bas (cf. ci-dessous) - correspondent aux consignes de positionnements des actionneurs. Ces trains d'impulsions, envoyés sur le port 8, sont par la suite filtrés par un passe-bas (cf. 2.4.3) afin de donner des consignes analogiques en tensions continues.

Train d'impulsion de période $T = Th + Tb$



Rapport cyclique : $\alpha = Th/Tb$

Les timers incrémentent une variable de 0000_h à FFFF_h toutes les 400 ns puis sont remis à zéro, ils tournent donc en boucles de 26ms. L'unité CapCom2 possède 8 canaux contenant des entiers compris entre 0000_h et FFFF_h afin de faire commuter les sorties du port 8 au moment où leur timer associé parvient à leur valeur selon plusieurs lois paramétrables. Nous utilisons 2 canaux dans lesquels nous entrons les valeurs de Look Up Table "numérisée" afin que les sorties P8.0 et P8.1 commutent de façon à obtenir les rapports cycliques correspondants aux consignes de positionnement des actionneurs souhaitées.

Pour gérer toutes les fonctions binaires, à savoir la réception de la sélection de la loi de commande et celle des erreurs des variateurs ainsi que l'allumage des diodes électroluminescentes (DELs) du tableau de bord, nous utilisons également le port 1. Les premiers pins du port, le port 1L (port 1 "bas"), sont configurées pour recevoir les bits d'entrée alors que les derniers pins, le port 1H (port 1 "haut") sont consacrés aux bits de sortie.

2.4.3. Traitement des signaux

Filtre passe bas

➤ Situation

Les consignes de positionnement des actionneurs sont fournies par le microcontrôleur, mais par des trains d'impulsions à rapports cycliques variables qui ne sont pas "intelligibles" par le montage électrique d'asservissement en position des actionneurs.

➤ Objectif

Il faut transformer les rapports cycliques variables en tensions continues de valeurs variables.

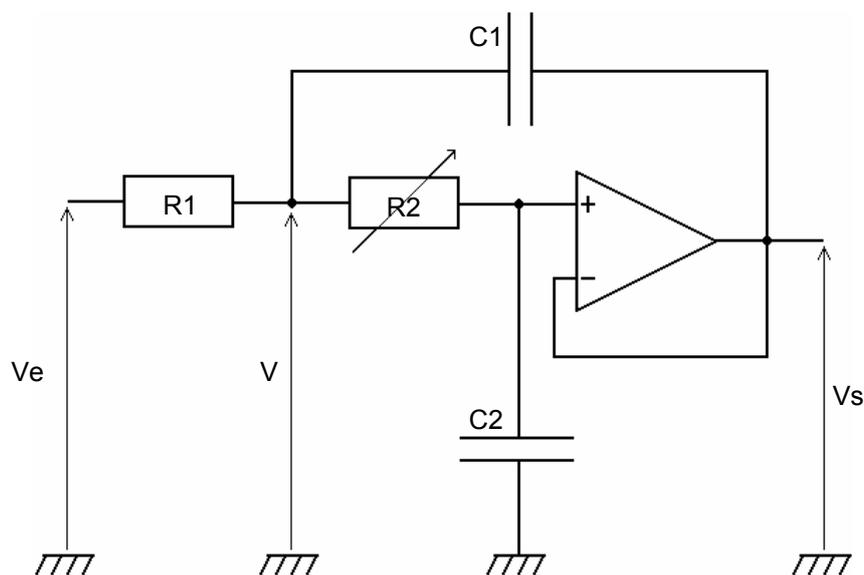
➤ Solution

Nous utilisons deux filtres passe bas. Pour garder intactes les informations issues du microcontrôleur, il faut un filtre de gain unitaire.

➤ Application

Nous avons choisi de prendre le filtre de Butterworth suivant :

Schéma du filtre de Butterworth



Grâce aux approximations de l'amplificateur opérationnel parfait ($V^+ = V^-$ et $i^+ = i^- = i_s = 0$) et aux simplifications de Butterworth ($R1 = R2 = R$ et $C1 = C2 = C$) nous pouvons aisément trouver la fonction de transfert de ce filtre :

La somme algébrique des courants à la jonction V est nulle donc

$$\frac{V_i - V}{R1} + \frac{V^+ - V}{R2} + (V_s - V)jC1\omega = 0$$

Soit

$$V_i + V^+ - 2V + (V_s - V)jRC\omega = 0$$

Or nous avons un pont diviseur de tension entre V et V+

$$\frac{V_+}{V} = \frac{1}{1 + jRC\omega}$$

Soit

$$V = (1 + jRC\omega) V_+$$

Avec

$$V_+ = V_- = V_s$$

D'où

$$V_i + V_s - 2V_s (1 + jRC\omega) + jRC\omega V_s - jRC\omega (1 + jRC\omega) V_s = 0$$

Ce qui donne la fonction de transfert du filtre :

$$\frac{V_s}{V_i} = \frac{1}{(jRC\omega)^2 + 2jRC\omega + 1}$$

Ce filtre a pour fréquence de coupure :

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

Sachant que le microcontrôleur envoie un signal de période 26 ms (donc de fréquence 38,5 Hz), nous avons choisi de prendre une fréquence de coupure environ 10 fois inférieure afin d'avoir une atténuation suffisante tout en évitant d'allonger le temps de réponse du filtre pour cause de charge/décharge de condensateurs de forte capacité à travers des résistances importantes. Avec les valeurs normalisées de résistance et de capacité $R = 43 \text{ K}\Omega$ et $C = 1 \mu\text{F}$, nous avons $f_c = 3,7 \text{ Hz}$.

➤ Réglage

Afin de s'assurer de l'égalité des valeurs des 2 résistances malgré la dispersion de fabrication de ces composants, la résistance R2 est un potentiomètre réglable entre 0Ω et $50 \text{ K}\Omega$. Mesurer d'abord R1 et donner la même valeur à R2.

Comparateur

➤ Situation

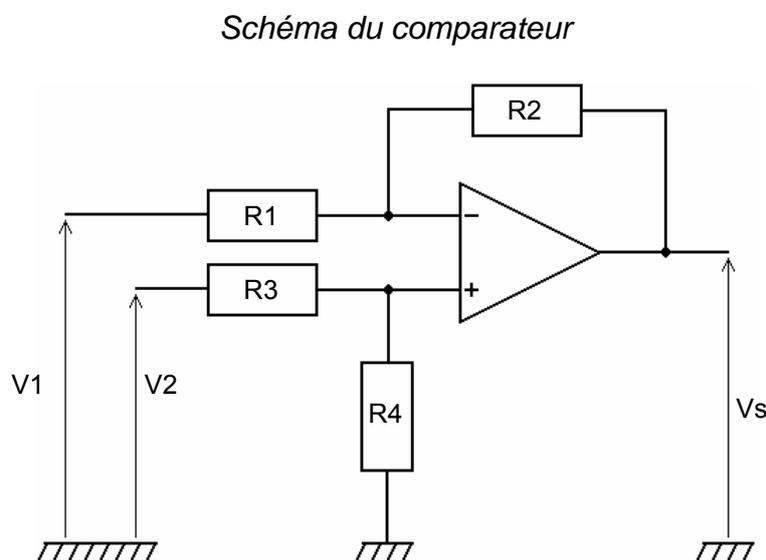
Le positionnement des actionneurs est assuré par deux boucles d'asservissement, une pour la roue droite, l'autre pour la gauche. Ces boucles fermées ont pour objectif de diminuer les erreurs entre les consignes et leurs mesures respectives, elles doivent donc accéder à ces erreurs.

➤ Objectif

Obtenir l'erreur analogique entre la consigne de positionnement d'un actionneur et sa mesure donnée par le transducteur linéaire associé.

➤ Solution

Nous utilisons un montage soustracteur (aussi appelé comparateur) à base d'amplificateur opérationnel qui possède le schéma suivant :



Nous avons, selon le théorème de Millman :

$$V_- = \frac{\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_s}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{R_2 V_1 + R_1 V_s}{R_1 + R_2}$$

Plus un pont diviseur de tension :

$$V_+ = \frac{R_4}{R_3 + R_4} V_2$$

Donc, comme $V_+ = V_-$:

$$R_4 V_2 (R_1 + R_2) = (R_3 + R_4) (R_2 V_1 + R_1 V_s)$$

Soit

$$R_1 V_s = -R_2 V_1 + \frac{R_1 + R_2}{R_3 + R_4} R_4 V_2$$

Pour notre application, nous souhaitons effectuer la simple soustraction des deux tensions. Nous prenons donc $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ afin d'obtenir:

$$V_s = V_2 - V_1$$

Adaptation au variateur

➤ Situation

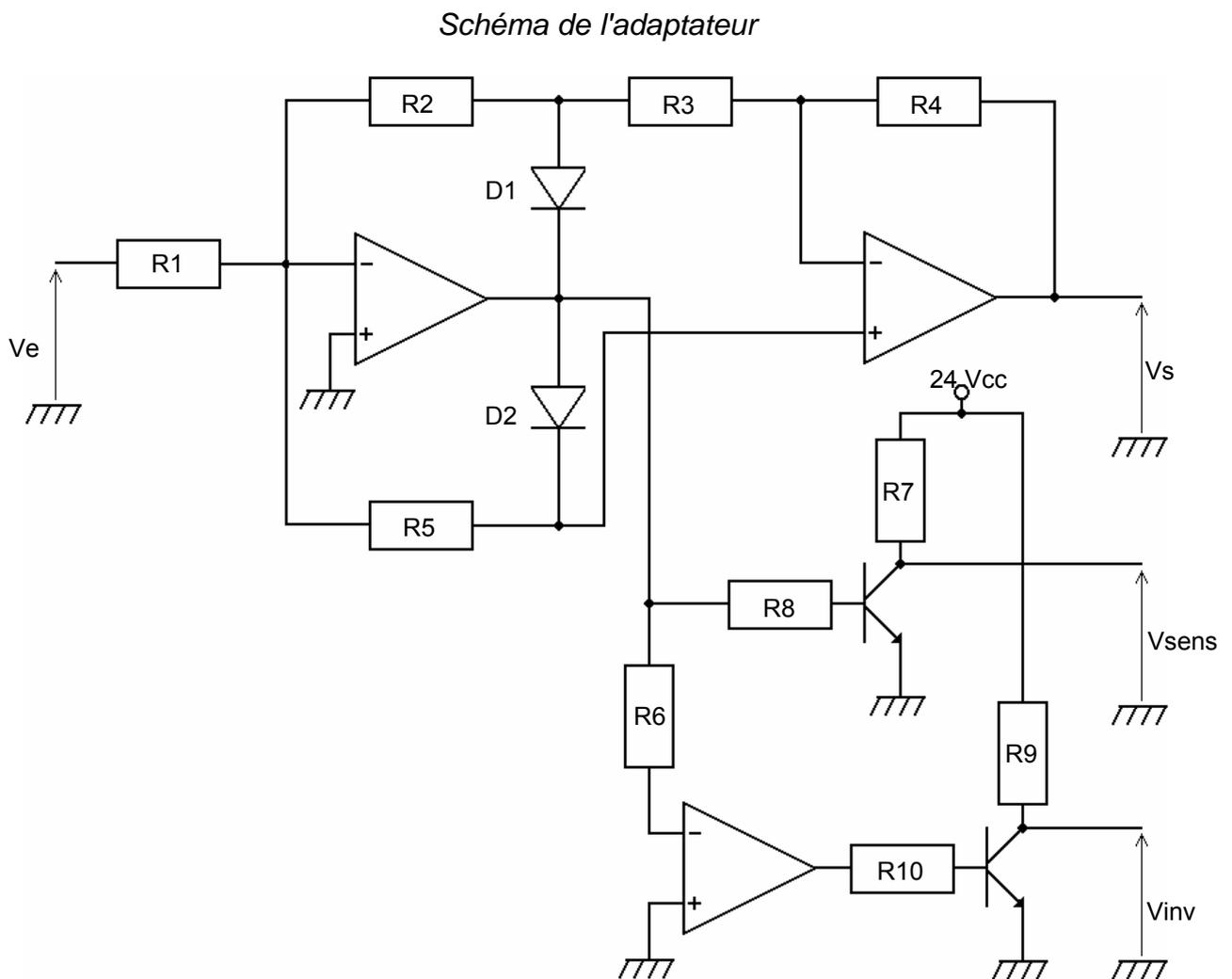
L'erreur obtenue grâce au montage précédent est caractérisée par son sens et sa valeur absolue qui sont assemblés dans un seul signal. Le motovariateur avec lequel nous pilotons l'actionneur a besoin que ces deux informations soient disjointes en un signal entre 0 et 10 V (qui donne la consigne de vitesse du moteur) et 2 bits (qui donnent son sens de rotation).

➤ Objectif

Extraire du signal obtenu à la sortie d'un comparateur la valeur absolue de la tension sous forme de tension continue équivalente et le sens de l'erreur sous forme de 2 bits donnés en 0 / 24 Vcc.

➤ Solution

Nous avons utilisé le circuit suivant :



Ce circuit multiplie la tension d'entrée V_e par son signe. Il délivre donc une tension de sortie V_s égale à la valeur absolue de V_e . De plus, par un jeu d'amplificateurs montés en inverseur et de transistors, il permet de récupérer V_{sens} et V_{inv} en binaire sur 24 Vcc.

Correcteur

➤ Situation

Dans une boucle fermée d'asservissement, le correcteur peut revêtir plusieurs aspects. Par exemple, un correcteur de type P.I.D. contient les trois modèles de correcteurs de base : le proportionnel, l'intégrateur et le dérivateur.

➤ Objectif

Utiliser le meilleur correcteur pour notre application qui demande un temps de réponse minimal mais surtout une fiabilité nécessaire à la sécurité des passagers du kart.

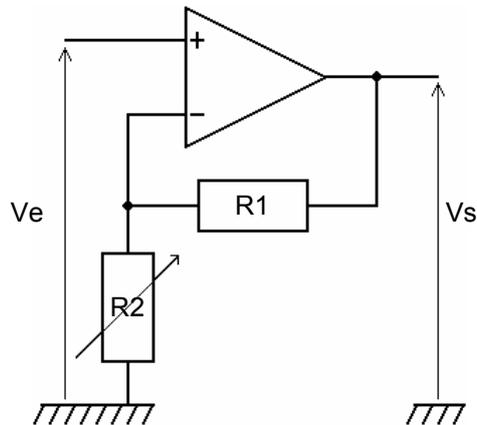
➤ Solution

Le système est naturellement intégrateur car nous le commandons en vitesse (de rotation de son moteur) et sa vis nous restitue une position. De plus, il peut générer beaucoup de parasites, notamment au près du variateur, donc nous n'allons pas utiliser de correcteur avec action dérivée afin de ne pas amplifier ces hautes fréquences et d'éviter la déstabilisation du système. Nous n'avons alors besoin que d'un correcteur proportionnel.

➤ Application

Pour amplifier un signal électrique, en l'occurrence celui de la valeur absolue de l'erreur entre la consigne de positionnement d'un actionneur et sa mesure, il suffit d'employer un amplificateur monté en non inverseur :

Schéma du correcteur



C'est un circuit classique sur lequel nous reconnaissons facilement un pont diviseur de tension entre la sortie et l'entrée inverseuse :

$$\frac{V_-}{V_s} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Soit

$$R_2 V_s = (R_1 + R_2) V_-$$

D'où

$$V_s = \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) V_-$$

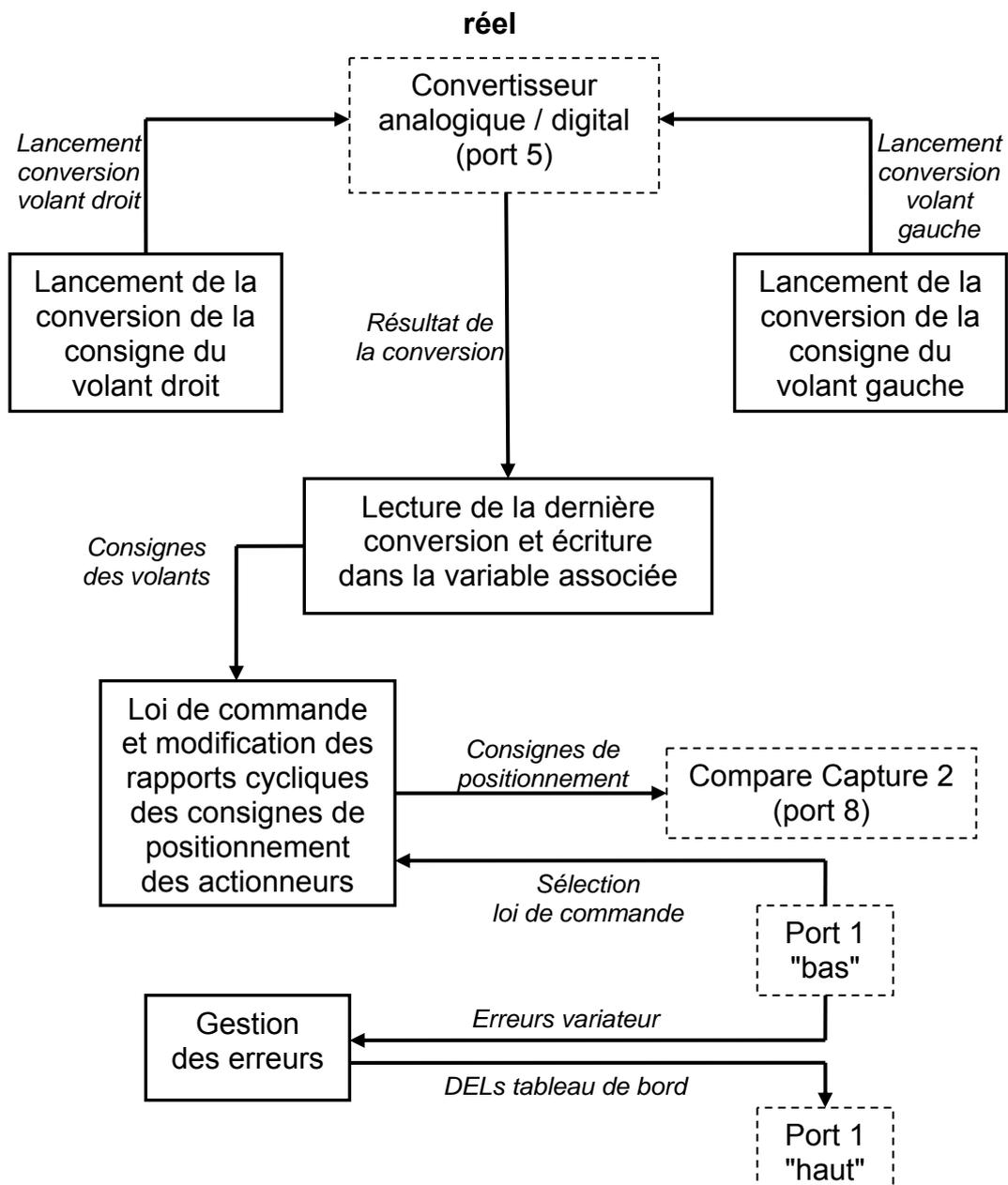
➤ Réglage

Le réglage est simple : plus on baisse la valeur de la résistance R_2 , plus l'amplification devient importante selon une loi de type $1/x$.

2.5. Programmation temps réel

Le programme est constitué d'un programme principal qui initialise les différentes unités du microcontrôleur que nous utilisons pour notre application : le CAD, le CapCom2 et les ports (cf. 2.4.2). Ce programme se charge aussi de la déclaration des tâches temps réel et de leur lancement. A partir du démarrage du programme principal ces tâches tournent en continu et déclenchent environ toutes les 10 ms l'interruption de fin de conversion du ADC, comme expliqué ci-après. Il suffit alors de détruire le programme principal et de laisser tourner les tâches grâce à une boucle du système d'exploitation temps réel.

Architecture du programme en temps



Les deux premières tâches sont celles qui lancent la conversion analogique / numérique des 2 consignes provenant des volants, l'une configurant la conversion de l'entrée P5.0 et l'autre celle du port P5.1 en changeant la valeur de ADCON, la variable du microcontrôleur correspondante au numéro du canal à convertir. Pour cela elles utilisent la fonction `ADC_vStartConv()` préexistante sur Dave.

Afin de laisser au microcontrôleur le temps d'effectuer la conversion avant de lancer la conversion suivante, nous avons mis un "délai" qui suspend la boucle infinie de ces tâches durant 5ms.

La tâche suivante permet de lire le résultat de la conversion dès qu'il est disponible car il s'agit de la tâche d'interruption de fin de conversion du ADC, elle s'exécute donc à chaque fois qu'une conversion est terminée. Elle utilise la fonction `ADC_uwReadConv()` de Dave et la variable ADCON pour placer le résultat de la conversion dans la variable correspondante au volant dont la consigne vient d'être convertie.

Comme les deux types de tâches précédents se servent de la même ressource, le ADC (on parle alors de ressource critique), ces tâches doivent utiliser un sémaphore dont le but est d'empêcher qu'elles y accèdent en même temps, elles doivent donc prendre la main pour utiliser le ADC grâce à une primitive WAIT - correspondante à l'essai d'accès à la ressource et au blocage de celle-ci le cas échéant - puis la rendre une fois qu'elles s'en sont servies avec la primitive SIGNAL - correspondante à la libération de la ressource.

Cependant, étant donné que la tâche de lecture du résultat ne peut démarrer avant que le convertisseur n'ait écrit le résultat dans sa mémoire, la primitive WAIT se situe au début des tâches qui lancent la conversion alors que la primitive SIGNAL se situe à la fin de la tâche qui lie le résultat.

Les consignes des volants étant numérisées, nous pouvons les traiter afin d'obtenir les consignes de positionnement des actionneurs selon la loi de commande déterminée par l'interrupteur de sélection au tableau de bord. La tâche intitulée "Loi de commande" utilise la fonction `CC2_vSetCCxReg()` pour mettre dans les registres des canaux du CapCom2 les valeurs de Look Up Table correspondantes aux consignes données par les volants d'après la loi de commande sélectionnée, c'est-à-

dire soit celle du volant gauche, soit celle du volant droite, soit enfin une loi de commande prenant en compte les deux consignes de rotation - nous avons choisi, par souci de simplicité et pour représenter le cas où une personne à mobilité réduite conduit, accompagnée d'un instructeur qui lui montre en même temps les mouvements, une simple moyenne des consignes.

Ici aussi nous avons eu recours à un sémaphore puisque l'interruption de fin de conversion et la tâche de loi de commande utilisent toutes deux les variables de consigne des volants, l'une pour y écrire, l'autre pour y lire. Ces deux tâches commencent donc par la primitive WAIT et finissent sur la primitive SIGNAL afin de se réserver l'accès à ces variables.

De plus, comme le temps minimal entre deux conversions est de 5 ms à cause du "délai" des tâches qui lancent la conversion, un "délai" identique (de 5 ms) a été rajouté à la fin de la boucle infinie de la tâche "loi de commande" pour que l'interruption de fin de conversion puisse accéder à la ressource critique "variables de consigne des volants" à chaque fin de conversion et donc qu'elle puisse s'exécuter.

Une dernière tâche scrute toutes les 25 ms les informations du variateur afin de s'assurer du bon fonctionnement de l'asservissement. C'est donc elle qui allume soit la diode électroluminescente verte si tout va bien, soit la diode rouge s'il survient une erreur. Elle pourra par la suite faire remonter l'information au microcontrôleur de gestion de la propulsion via le bus CAN.

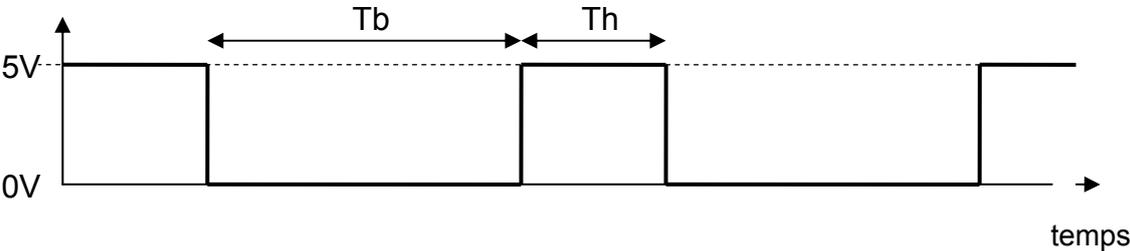
3. Réalisation

Nous sommes revenus pour réaliser un prototype de carte électronique, selon les schémas vus précédemment, la semaine suivant la fin du projet. Nous testâmes les circuits indépendamment sur une plaquette d'essai avant de les mettre sur la carte. N'ayant le temps de réaliser les typons, nous avons fait ce prototype en soudant les composants et quelques fils directement sur une carte afin de l'intégrer dans le boîtier et d'effectuer toutes les connexions pour câbles blindés.

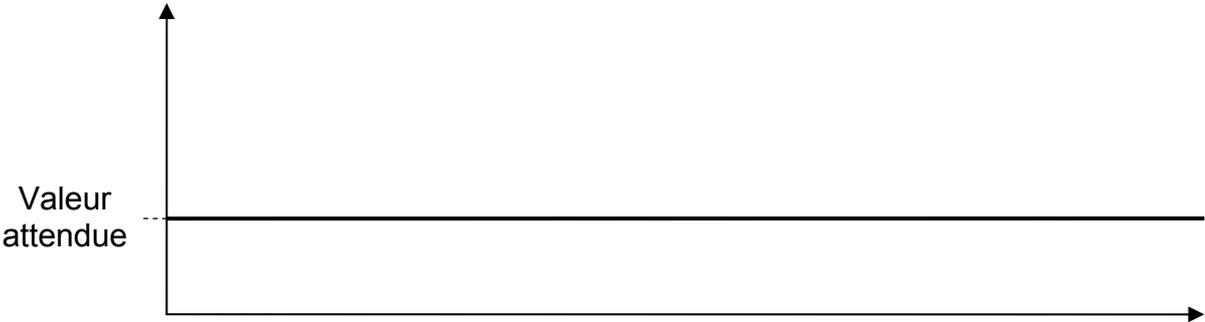
Lors des semaines et surtout des jours précédents la manifestation E-Kart, nous revînmes à nouveau pour essayer le système – enfin – au complet avec les actionneurs.

Alors que tous les circuits fonctionnaient indépendamment les uns des autres, nous fûmes surpris de constater que le système ne répondait pas toujours comme nous l'entendions. En effet, lors de test en boucle ouverte, la consigne de position semblait saturer passé la moitié de sa valeur maximale. Nous comprimes vite que notre filtre passe bas, configuré pour une fréquence de 38 Hz, ne réagissait pas bien lorsque le rapport cyclique passait au dessus de 1. Il semblerait qu'il réagissait comme si le faible temps pendant lequel le signal était à l'état bas était perçu comme une haute fréquence – relativement à 38 Hz – alors que, lorsque le rapport cyclique était inférieur à 1, le faible temps où le signal était à l'état haut ne le perturbait pas – cf. figures ci-après :

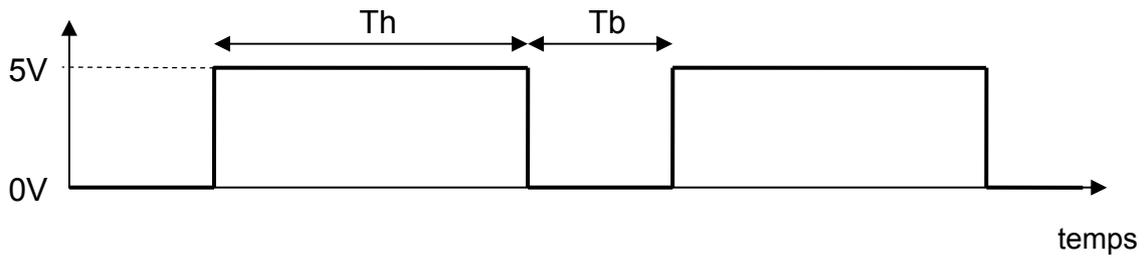
Train d'impulsion de rapport cyclique inférieur à 1



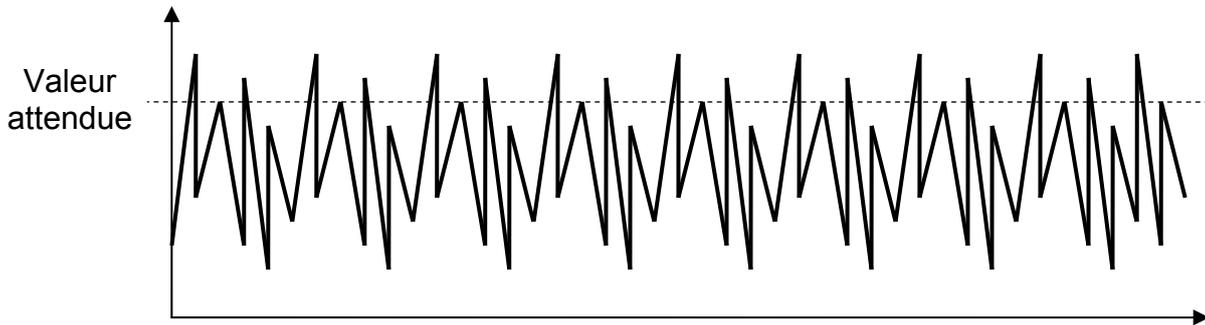
Réponse du filtre



Train d'impulsion de rapport cyclique supérieur à 1

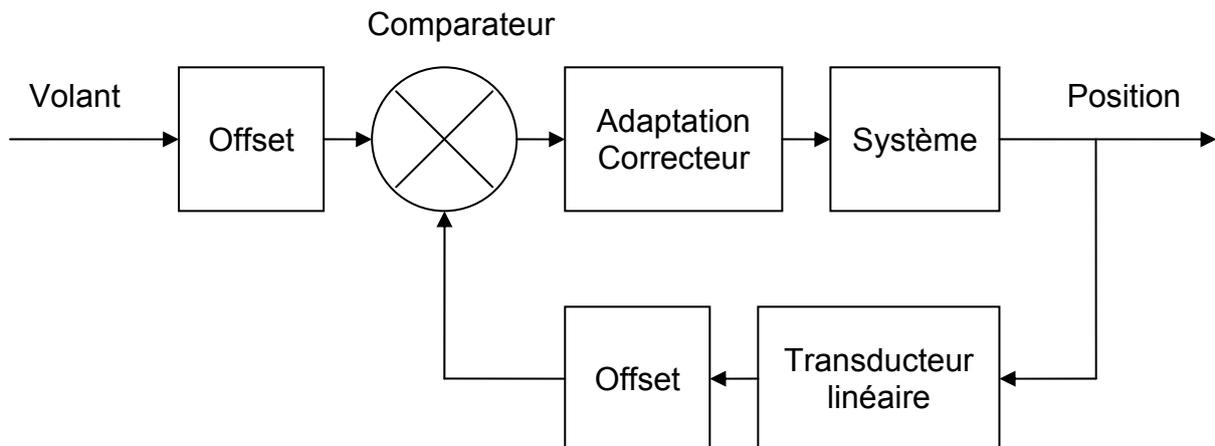


Réponse du filtre



Pris par le temps, nous décidâmes de retirer le microcontrôleur et ce filtre notre boucle d'asservissement, quites à perdre le C.I.R. en n'utilisant qu'un actionneur et ne se servir que d'un volant afin de pouvoir montrer un kart fonctionnel.

Le schéma simplifié de l'asservissement devint le suivant :



Alors que SpeedoMax ouvrait ses portes pour la deuxième journée du concours E-Kart, nous réalisons ce circuit sur une ancienne carte à wrapper empruntée à J.P. WRZESNIESKI.

Malheureusement, alors que l'équipe qui s'occupait en parallèle de la mécanique commençait à baisser les bras devant l'entendu de travail qu'il restait de part et d'autre, nous fumes démoralisés par un nouvel échec lors des tests : le circuit "Adaptation & Correcteur" divergeait. Après vérification du câblage, nous pensions avoir encore oublier un phénomène singulier auquel nous n'avions pas penser lors de l'étude. Or, nous avions bien prévu qu'il faudrait blinder notre carte électronique au vu des faibles amplitudes des signaux utilisés. En effet, lorsque l'amplitude du signal du transducteur et celle de la consigne se rapprochaient au point d'annuler l'erreur de positionnement, le signal d'erreur était alors soumis aux perturbations environnantes et nous retrouvions, amplifié et écrêté à +/-12V par le bloc "Adaptation & Correction", un signal de 50 Hz provoqué par les appareils fonctionnant sur le secteur à proximité.

4. Bilan du projet

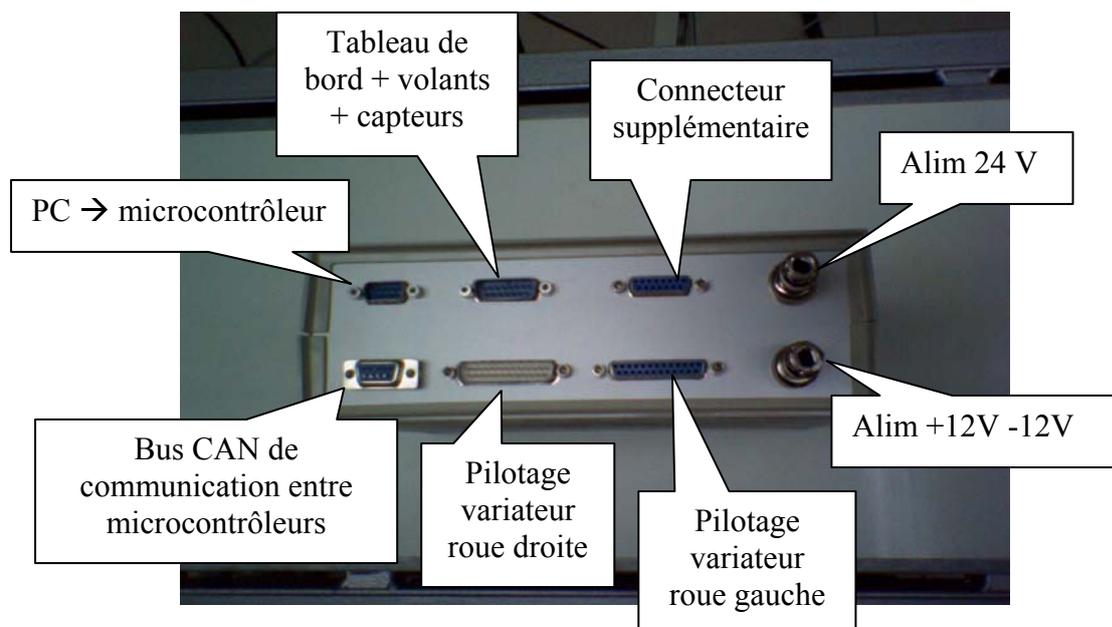
4.1. Bilan de l'étude

Le projet est à présent bien avancé puisque, partis de rien, nous possédons aujourd'hui :

- un coffret complet

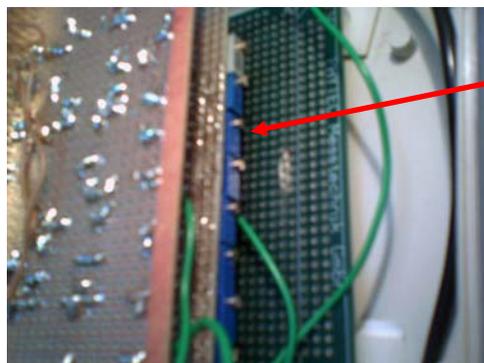
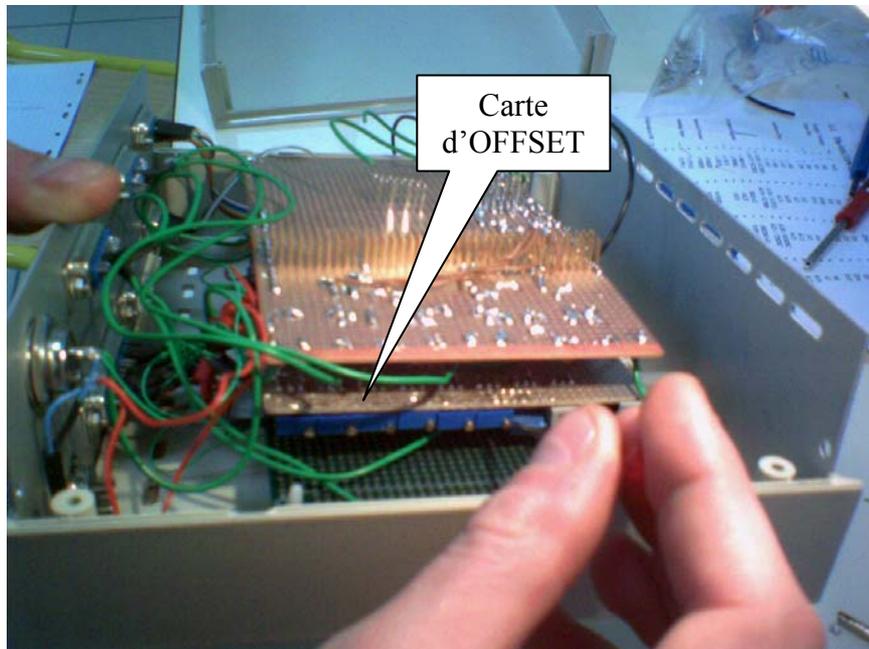


Ce coffret est étudié pour échanger toutes les informations avec son environnement actuel et futur :

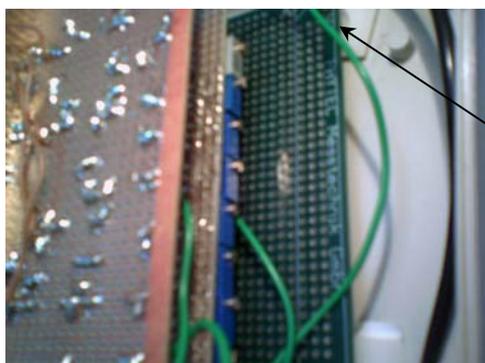


Tous les connecteurs sont détrompés mâle / femelle pour éviter les erreurs de connexion.

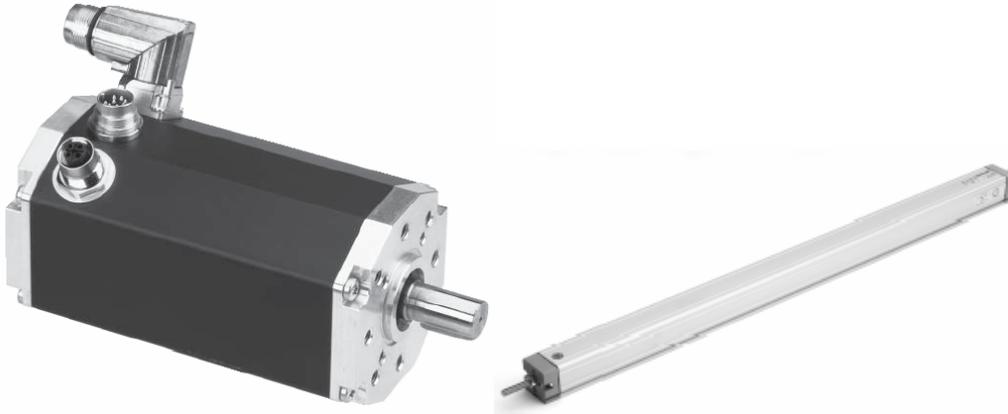
- une carte réglage d'OFFSET (fonctionne bien)



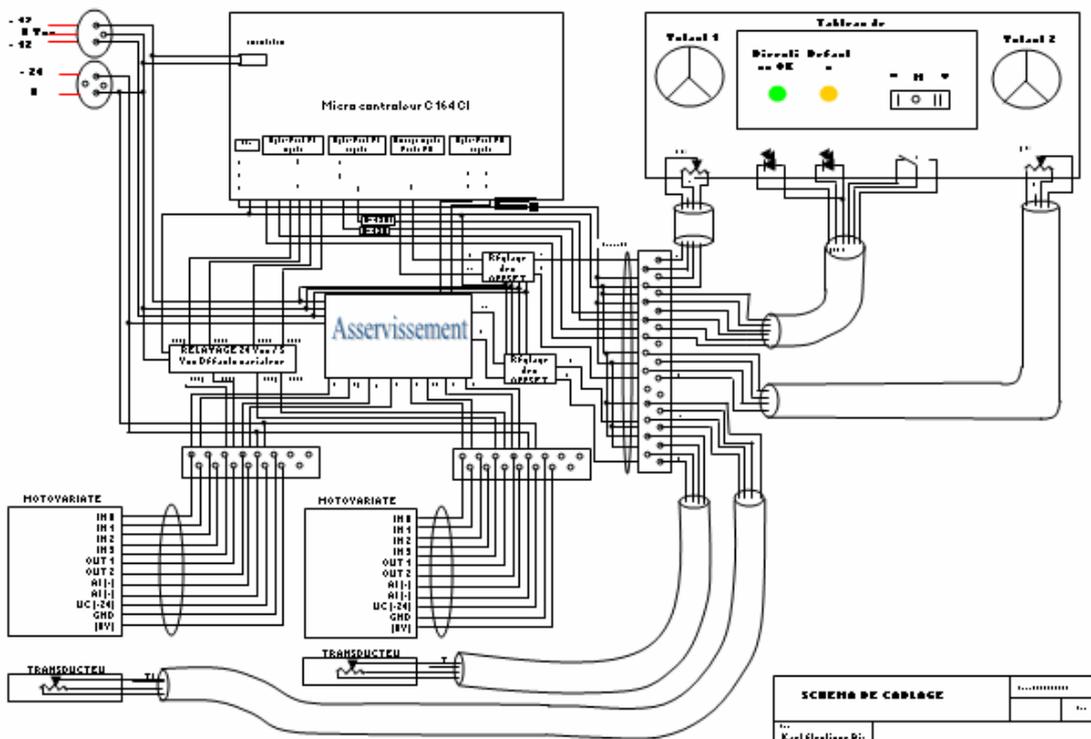
- une carte microcontrôleur avec programme, montée sur embases adhésives. (fonctionne très bien)



- capteurs et actionneurs



- les schémas de câblage complets



Toutes les informations sont données dans le Cd-rom ci-joint avec le rapport concernant le câblage, données techniques, rapport, oral...

4.2. Projets futurs

Lors de cette étude, les idées d'innovations se sont bousculées.

En effet, plusieurs projets futurs pourront être réalisés sur les idées de développement suivantes :

- **Finir la réalisation actuelle avec un câblage sur circuit imprimé, la conception d'un filtre adapté et valider les temps de réponse de l'asservissement en poursuite.**
- **Etudier une direction avec 4 roues directionnelles**
- **Utiliser le bus CAN de communication entre le microcontrôleur de la direction et celui de la motorisation pour limiter l'accélération selon l'angle de braquage (anti-patinage) et d'arrêter le kart sur un défaut de direction.**
- **Développer une commande analogique par joystick.**
- **Mettre en place une commande radioguidée.**
- **Etudier sur 4 roues directionnelles l'amorce d'un virage par translation du véhicule (4 roues parallèles braquées) puis par rotation autour d'un C.I.R.**
- **Etudier un système permettant l'accessibilité en autonomie aux personnes à mobilité réduite (transfert autonome via une poignée en hauteur sur un arceau). Cet arceau peu être mise en place sur le Kart ou sur une station en bord de piste.**
- **Mettre en place un freinage par récupération de courant**
- **Développer une commande de frein analogique au volant qui actionne le maître cylindre de frein.**

5. Conclusion

Ce fut un **projet à la hauteur de nos attentes**. Il nous a permis de laisser **libre recours à notre imagination** et à notre savoir faire lors de la conception. La direction électrique est un sujet qui nous a passionné. Effectivement, la diversité des domaines de compétence y est réunie : **mécanique, électronique, électrotechnique et programmation**.

L'aboutissement d'**une réalisation concrète** de l'étude souligne les erreurs de conception.

Outre l'aspect technique, le **travail en groupe** autour d'un objectif commun fut une **grande aventure** permettant de créer de **forts liens amicaux** avec tous les collaborateurs. Ce fut une application directe des méthodes de **négociation, de communication, de management et d'organisation**.

Sur un plan personnel, ce projet a été très formateur agissant comme une **synthèse de la formation mécatronique de l'I.U.P G.S.I**. La motivation fut le moteur principal de notre investissement physique et moral avec l'espoir d'avoir participé à la réalisation d'un kart unique en France et présentant des innovations qui auront une impacte réaliste pour les personnes à mobilité réduite.