



INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE EN INFORMATIQUE ET EN AUTOMATIQUE

Réalisation d'un dispositif de détection d'obstacles pour le véhicule CyCab

Christien erod



INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE EN INFORMATIQUE ET EN
AUTOMATIQUE

Unité de Recherche INRIA Rhône-Alpes : ZIRST - 655, avenue de l'Europe - 38330 Montbonnot Saint Martin France
Téléphone : 04 76 61 52 00 - international : +33 4 76 61 52 00 - FAX : 04 76 61 52 52 - international : +33 4 76 61 52 52

Établissement public national à caractère scientifique et technologique - Décret n° 85.831 du 2 août 1985

Re ercie ents

Je tiens tout d'abord à remercier Jean François Cuniberto, mon responsable de stage, et Gérard Baille responsable du service moyens robotiques, pour leurs précieux conseils et le temps qu'ils ont bien voulu me consacrer tout au long de ce stage. C'est grâce à eux deux que mon stage a été si formateur. Sans eux le projet n'aurait pas été aussi finalisé.

Enfin, je souhaite aussi remercier l'ensemble des membres de l'équipe des Moyens Robotiques de l'INRIA Rhône-Alpes pour leur accueil et l'ambiance de travail, en particulier Soraya Arias, Laurence Boissieux et Cédric Pradalier (thésard) qui ont investi du temps pour m'aider lorsque certains problèmes se sont présentés.

Table des matières

INTRODUCTION

CHAPITRE I - INTRODUCTION URBAIN

1. CAHIER DES CHARGES 3
2. PRESENTATION DU MATERIEL UTILISE 3
 - 2.1. Le CyCab 3
 - 2.2. Le nœud ROBOSOFT 4
 - 2.3. Outils de développement 5
 - 2.4. Capteurs utilisés 5

CHAPITRE II - AUR URBAIN

- 1 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT 6
2. FONCTIONNEMENT DU KIT POLAROID 6500 7
 - 2.1. Fonctionnement général 7
 - 2.2. Fonctionnement du mode single-écho 8
3. MISE EN ŒUVRE 9
 - 3.1. Adaptation de la carte 6500 au cristal piézoélectrique série 9000 9
 - 3.2. Emission et réception d'un signal 11
4. TESTS ET VALIDATION DES CAPTEURS 11
5. POSITIONNEMENT DES CAPTEURS 13

CHAPITRE III - AR INRAA

- 1 CHOIX DE L'ELECTRONIQUE 14
2. FONCTION A UTILISER SUR LE MPC555 14
3. LA FONCTION PWM 15
4. LA FONCTION TPU 15
5. MISE EN ŒUVRE DES FONCTIONS PWM ET TPU 16
6. MISE EN ŒUVRE DE LA CARTE D'INTERFAÇAGE 16
 - 6.1. optocouplage des signaux 17
 - 6.2. Branchement des signaux ECHO sur les entrées TPU de la carte MPC 19
 - 6.3. Branchement des signaux ECHO sur le bus de données de la carte MPC 20

6.4. Sélection entre les capteurs avant ou arrière..... 21

CHAPITRE IV - **OUTILS DE DEVELOPPEMENT**

1. OUTILS DE DEVELOPPEMENT 22

2. MISE EN ŒUVRE DES ENTREES / SORTIES GENERALES 22

3. MISE EN ŒUVRE DU PWM 22

4. MISE EN ŒUVRE DU TPU 23

5. LECTURE DU BUS DE DONNEES 24

6. STRUCTURE DU PROGRAMME 24

CHAPITRE V - **TESTS DE LA CARTE ET DU PROGRAMME**

1. MISE EN BOITIER 26

2. TESTS DE LA CARTE ET DU PROGRAMME 27

3. TEST DU BOITIER DE COMMANDE ET DES CAPTEURS 28

CHAPITRE VI - **TEST DU BOITIER DE COMMANDE ET DES CAPTEURS**

ANNEXES

1. PRESENTATION MECANIQUE DU CYCAB..... 30

2. PRESENTATION ELECTRIQUE DU CYCAB..... 31

3. DESCRIPTION MATERIELLE D'UN NOEUD 32

4. DETAIL DU FONCTIONNEMENT DES KITS SONAR POLAROID 6500..... 33

5. SCHEMA DE CABLAGE DES KITS POLAROID SUR LES DB9 36

6. TESTS DES CRISTAUX PIEZOELECTRIQUES 36

 6.1. Position 40° théorique..... 36

 6.2. Position 15° théorique..... 36

7. MISE EN PLACE ET ORIENTATION DES CAPTEURS 37

8. SCHEMA DU NOEUD ROBOSOFT 39

9. SCHEMA DE LA CARTE A WRAPPER..... 41

10. NOMENCLATURE..... 43

INDEX

Intr d cti n

Dans le cadre de ma formation de maîtrise IUP GEII, j'ai pu valider et acquérir de nouvelles connaissances grâce au stage effectué à l'INRIA Rhône-Alpes (Institut National de Recherche en Informatique et en Automatisation).

L'INRIA Rhône-Alpes a été cr e e en 1992, elle regroupe aujourd'hui 450 personnes réparties sur trois sites : la ZIRST¹ de Montbonnot, Lyon et le campus universitaire de Grenoble. Cette unité Rhône Alpes dépend d'une structure beaucoup plus importante : l'INRIA.

L'INRIA est un établissement public à caractère scientifique et technologique, placé sous la double tutelle du ministère de l'éducation nationale, de la recherche, de la technologie et du ministère de l'économie, des finances et de l'industrie. Cet institut est composé de 2100 scientifiques (appartenant à l'INRIA ou externe) répartis dans six unités : INRIA Futurs, Rocquencourt, Rennes, Sophia Antipolis, Grenoble (Rhône Alpes) et Nancy. Les principales missions de l'INRIA sont :

- Entreprendre des recherches fondamentales et appliquées.
- Réaliser des systèmes expérimentaux.
- Organiser des échanges scientifiques internationaux.
- Assurer le transfert et la diffusion des connaissances et du savoir-faire.
- Contribuer à la valorisation des résultats de la recherche.
- Effectuer des expertises scientifiques.
- Contribuer à la normalisation.

Ces six unités de recherches fondamentale et appliquée s'impliquent dans tous les domaines où interviennent les Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication, et ce, avec des moyens importants (101 millions d'euros de budget annuel). Les principaux domaines d'applications sont :

- Télécommunications et multimédias
- Biologie et santé
- Environnement
- Ingénierie et transport

C'est pour réaliser un système de détection d'obstacles pour des véhicules automobiles, que le Service Robotique, Vision et Réalité Virtuelle m'a accueilli. Le service robotique est chargé de la mise en œuvre des outils matériels et logiciels pour les expérimentations robotiques des projets de recherches.

¹ ZIRST : Zone pour l'innovation et les Réalisations Scientifiques et Techniques

Chapitre I

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'un des axes de recherches de l'INRIA est l'amélioration des transports et notamment la gestion de flottes de véhicules, les dispositifs de déplacements automatiques des véhicules, la sécurisation de la conduite pouvant aller jusqu'à une complète automatisation des véhicules.

De nombreux travaux de recherches ont été et sont réalisés sur la problématique générique des véhicules intelligents et de la robotique mobile. On peut citer le programme européen *Eurêka PROMOTHEUS*² qui a eu pour but d'améliorer la sécurité et le trafic sur les routes européennes. Le programme national PRAXITELE qui s'articule autour d'un système de transport public individuel à base de véhicules électriques et du concept de la Route automatisée. Cette idée englobe divers concepts de conduite automatisée et d'infrastructures qui y sont associés. Les applications sont très diverses et très souvent, elles permettent à l'homme de réaliser des actions qu'il lui serait difficile ou même impossible de réaliser seul.

Le véhicule intelligent a pour mission d'aider les utilisateurs dans leurs tâches de conduite. Lorsque les tâches sont simples, répétitives, le véhicule intelligent n'est plus que supervisé par l'opérateur humain qui lui trace les grandes lignes de son action. Le véhicule se déplace alors de façon autonome.

Dans tous les cas, et quel que soit le mode de contrôle du véhicule (opéré, télé-opéré ou autonome), il est nécessaire d'avoir une bonne information sur l'état du véhicule et de son environnement. Pour cela, le véhicule doit être équipé de systèmes de perception adaptés à la mission qu'il doit réaliser en fournissant toutes les informations nécessaires à l'aboutissement de la mission qui lui est confiée.

Afin d'obtenir plus d'informations sur l'environnement du véhicule, le service Robotique de l'INRIA a choisi d'intégrer différents types de capteurs sur un véhicule électrique. Tous ces axes de recherche sont donc synthétisés dans un seul et même véhicule : le CyCab. Dans ce cadre de recherche sur l'autonomie des véhicules, plusieurs expérimentations ont fait apparaître le besoin de données sensorielles complémentaires à celles délivrées par les capteurs en place : caméra, sick (télémètre à balayage laser).

En effet, il est maintenant nécessaire au CyCab d'avoir un dispositif permettant de détecter des obstacles au sol, afin d'exploiter les informations de ce dernier dans le cadre d'expérimentations sur l'évitement d'obstacles.

Le stage qui m'a été proposé, porte sur la conception de ce dispositif d'évitement d'obstacles à faible vitesse à l'aide de capteurs à ultrasons.

La réalisation de ce dispositif comprend les tests et la définition de l'emplacement des capteurs mis à ma disposition. Ces capteurs doivent être intégrés dans l'architecture matérielle du CyCab distribuée sur des microcontrôleurs MPC555. Il est donc prévu de concevoir une carte électronique d'extension pour le traitement du signal et sa connexion au système de control / commande par intégration logicielle.

² PROMOTHEUS : PROgram for an European Traffic with Highest Efficiency and Unprecedented Security

Ces véhicules sont localisés à l'INRIA de Rocquencourt et à l'INRIA Rhône-Alpes. Depuis 1998, ce véhicule a servi de plate-forme expérimentale pour de nombreux travaux.



Figure I.1 : Vue de profil du véhicule

Le CyCab a été construit autour d'une voiture de golf totalement revue et corrigée. Cette voiture est constituée de quatre roues motrices directrices. Chaque roue est couplée à un moteur de 900 Watts. La commande de cette voiture s'effectue par l'intermédiaire d'un joystick qui commande aussi bien la vitesse que la direction. L'ensemble de ces opérations est géré par deux microcontrôleurs RISC à cœur de Power PC (MPC555). Ces microcontrôleurs, couplés à une partie électronique, sont appelés nœud par la société qui les commercialise (ROBOSOFT). Les détails de la structure du CyCab sont en annexe page 30.

Le choix de la carte RISC

Le choix s'est porté sur cette carte MPC555 pour harmoniser l'intégration des capteurs avec les deux autres nœuds, déjà présents, dans l'architecture matérielle du CyCab (voir l'annexe page 31).

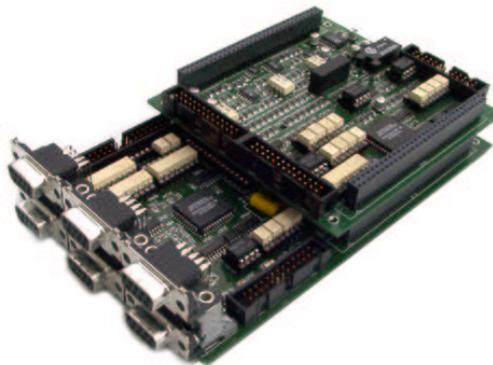


Figure I.2 : Nœud RISC sur carte fille

Sur la carte mère du nœud ROBOSOFT, on trouve des convertisseurs DC / DC qui fournissent, à partir du 48 V des batteries, toutes les alimentations nécessaires au fonctionnement du nœud et d'une carte d'extension. On trouve aussi sur cette carte un microcontrôleur 32 bits MPC555 à cœur Power-PC, avec son circuit de reset, son quartz externe, une RAM de 64 Kbytes supplémentaires et des connecteurs permettant d'interfacer une carte d'extension. Ce microcontrôleur comporte également des timer TPU, un calculateur externe générant des PWM (deux fonctions qui seront très utiles pour le projet). Les multiples possibilités de cette carte sont plus détaillées en annexe page 32.

□□□□ Outils de développement

Les outils de debuggage et de développement (SDS) étaient initialement installés sur un PC, qui ne fonctionnait plus à mon arrivée. Or, un problème de communication avec la hot line de windriver, nous a fait abandonner SDS au profit de GCC (the GNU Compiler Collection) sous linux. Notre choix c'est porté sur GCC, car c'est un compilateur GNU qui représente un standard dans le monde UNIX.

□□□□ Capteurs utilisés

Pour permettre la détection d'obstacles au sol, il fallait utiliser un capteur mesurant la distance qui le séparait de l'objet détecté. En effet, le but du dispositif est d'éviter un objet au sol et pour cela il faut non seulement avoir l'information de la présence d'un objet au sol, mais aussi sa distance pour pouvoir appliquer une action d'évitement.

Pour réaliser cette fonction de détection de la présence et de la distance d'un objet, deux solutions ont été envisagées, notamment l'utilisation d'une camera, à laquelle on appliquerait un traitement de l'image, mais c'est la solution du sonar qui a été retenue.

Le choix du sonar a été retenu principalement pour sa grande directivité, son aptitude à détecter les objets transparents, son immunité à la fumée et à la poussière. De plus, le même *cristal piézoélectrique*³ sert à la fois pour l'émission et la réception d'une onde sonore ce qui permet un gain de place évident. Enfin, les ondes ultrasoniques obéissent aux lois de réflexion des ondes lumineuses (l'angle d'incidence est égal à l'angle de réflexion), ce qui simplifie sa mise en oeuvre.

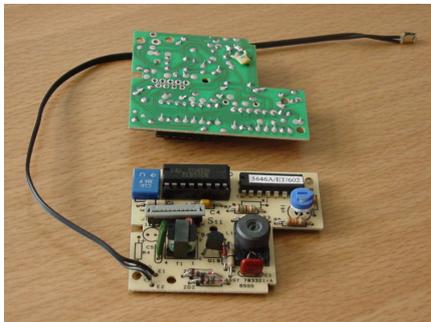


Figure I□□□ : Kit p□□rid □□□ □□□che□et crist□ pié□électri□e série □□□ □□dr□ite□

³ cristal piézoélectrique : Quartz ou autre substance dans laquelle une forte différence de potentiels peut être induite par application d'une pression uniforme. Inversement, l'application d'une tension spécifique au cristal provoque un changement prévisible des dimensions de ce dernier.

Chapitre II

AUTOUR DE LA SONAR

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Le kit ultrasonique sonar 6500 de polaroid est un dispositif servant initialement à mesurer les distances pour des appareils photos (*AUTOFOCUS*⁴). Un autofocus a pour fonction de mesurer précisément une distance et ce, de manière la plus directive possible. Ainsi l'appareil photos doit connaître la distance de l'objet le plus proche de sa lentille, afin d'appliquer une consigne d'ouverture plus ou moins grande à la focale. Les ondes ultrasonores sont très directives, car les faisceaux d'ondes se concentrent avec la distance.

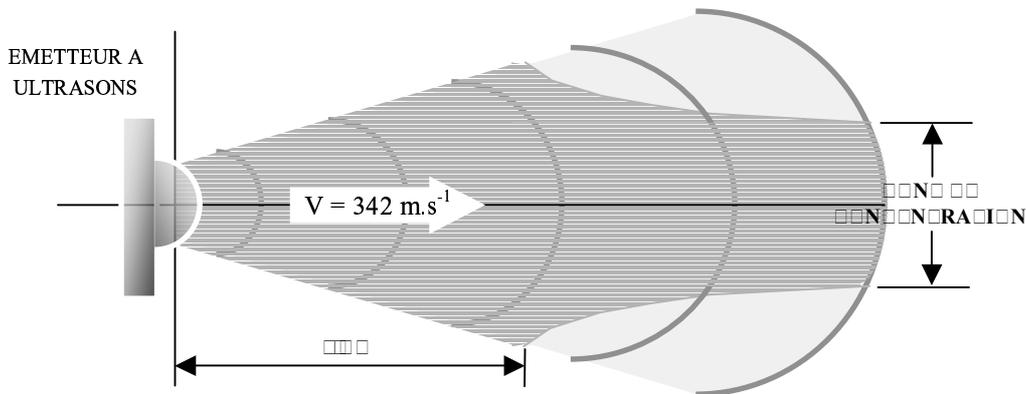


Figure II.1 : concentration d'un faisceau d'ondes ultrasonores avec la distance

Pour arriver au fonctionnement souhaité, il faut détourner un petit peu l'utilisation première de l'autofocus. Le kit 6500 doit permettre de détecter l'apparition d'un objet, de mesurer la distance séparant le capteur de l'objet et ce sur une zone la plus grande possible, pour limiter le nombre de capteurs.

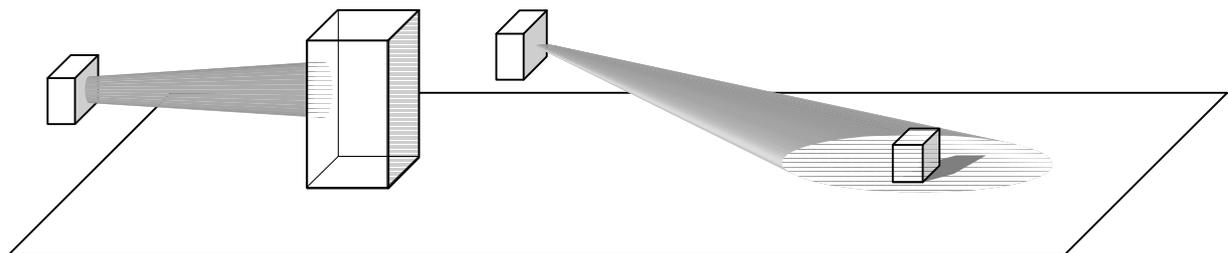


Figure II.2 : dispositif capable de fonctionner en sécurité à distance

Une fois l'objet détecté, la mesure de distance est très simple. Il s'agit en fait de mesurer le temps de vol de l'onde ultrasonore entre son émission et son retour après son rebond sur un obstacle.

⁴ AUTOFOCUS : système assurant la mise au point automatique d'un appareil photo en analysant le sujet central pour régler différents paramètres (champ, exposition, netteté) en fonction de ce sujet visé.

La commande des cartes sonar se fait à l'aide de trois signaux principaux. Le signal d'initialisation INIT qui permet de déclencher ou d'arrêter une mesure, et les signaux *BINH*⁵ et *BLNK*⁶ qui permettent de configurer le kit sonar en mode single ou multi-écho.

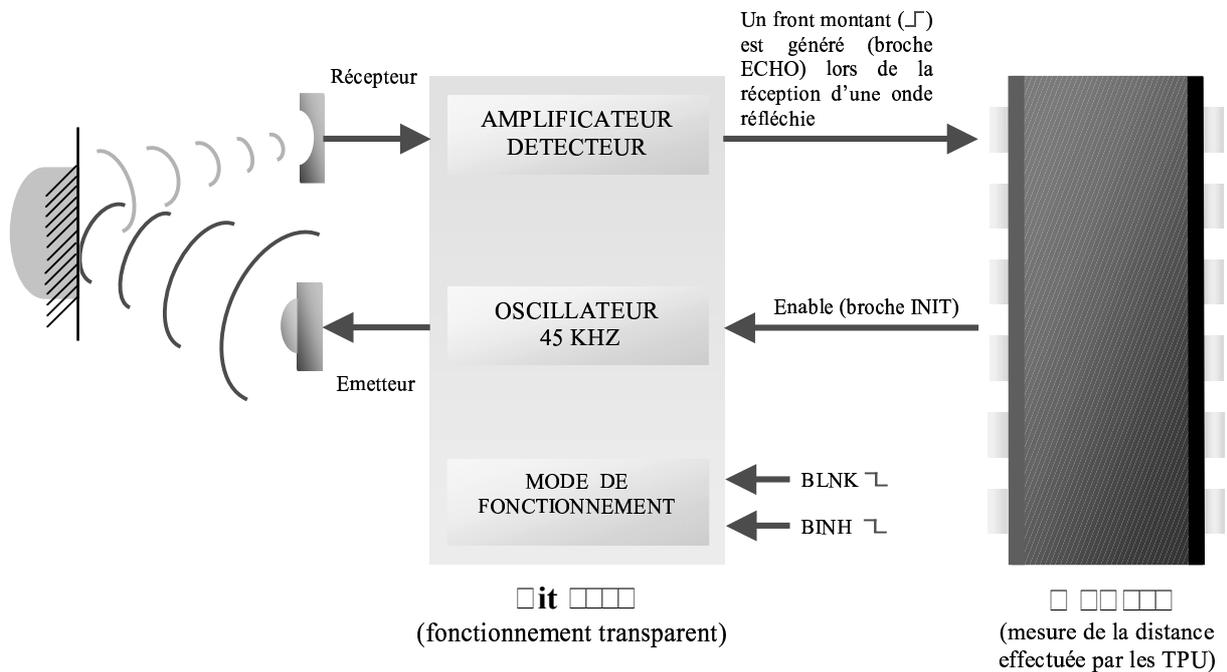


Figure II.1 : schéma fonctionnel

Le mode multi-écho, permet de déclencher plusieurs mesures séparées de 0,44 µs. Cela permet de faire de la visualisation d'environnement. Par exemple, on peut visualiser un objet derrière un grillage en ne tenant pas compte des échos générés par les mailles du grillage.

Le mode single-écho permet, de mémoriser la détection de l'objet jusqu'à l'arrêt de la mesure par le signal INIT. Cela permet de masquer d'éventuels échos parasites. C'est ce mode qui est particulièrement intéressant, car seul l'objet le plus proche du CyCab doit être détecté. Pour autant, l'utilisation du mode multi-écho ne sera pas écarté. Les broches BINH et BLNK ne seront donc pas définitivement câblées.

Configuration de la carte de single-écho

Le mode single-écho est défini lorsque les broches BINH et BLNK sont toutes deux à l'état bas.

Le démarrage d'une mesure se fait 5 ms (minimum) après la mise sous tension et après avoir appliqué un niveau haut sur la broche INIT. Ceci permet de lancer l'émission d'un train de 16 impulsions à 45 KHz. Ensuite une période de latence de 2,8 ms permet la relaxation totale du cristal piézoélectrique, afin que celui-ci n'oscille plus. Ceci évite la réception de faux écho, erreur, due à une vibration encore présente sur la membrane.

⁵ BINH : Blank INHibit

⁶ BLNK : Blanking

Après ce temps de latence, le sonar passe en mode réception. Lorsqu'un objet est détecté, le signal ECHO change d'état, passant du 0 au 1 logique. Le capteur mémorise alors la présence de l'obstacle jusqu'à l'application d'un niveau bas sur INIT. Ainsi, le système s'initialise, prêt pour déclencher une nouvelle mesure lorsque INIT recevra un niveau haut.

La distance séparant le capteur de l'objet ayant fait rebondir l'onde ultrasonique, se fait par la mesure du temps écoulé entre l'apparition du front montant sur INIT et celui généré par ECHO. Ce temps est donc le temps de vol aller et retour de l'onde.

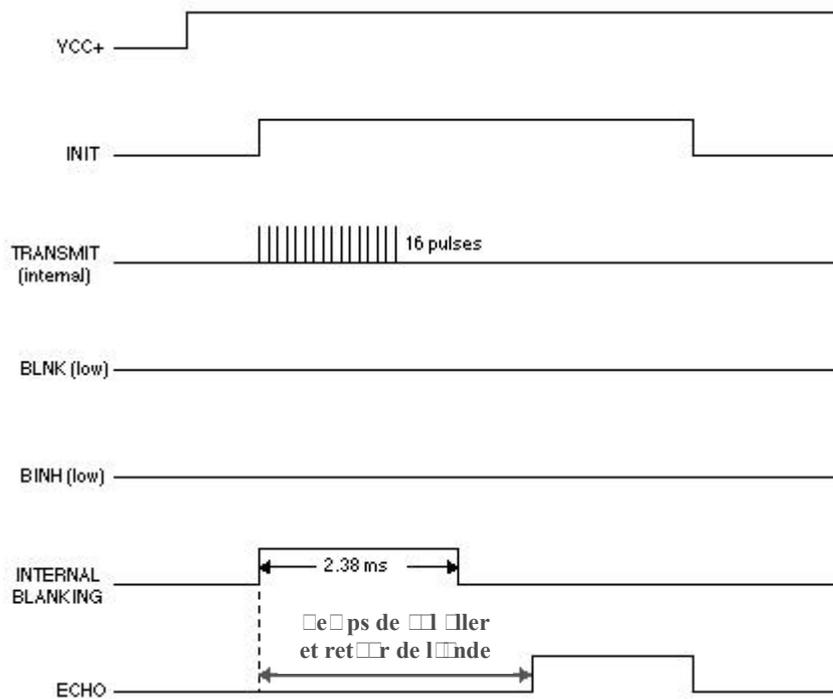


Figure II : chronogramme de l'onde émise en mode single-echo

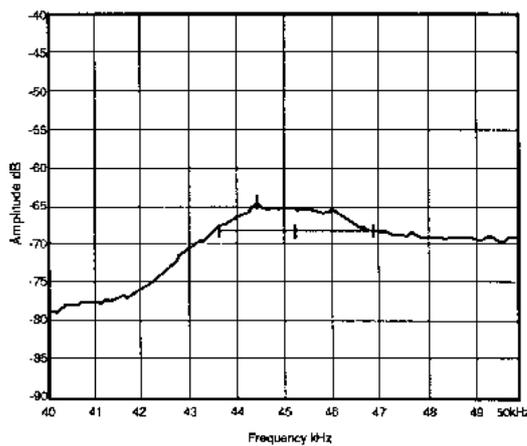
2.1.1. Introduction à l'UR

2.1.1.1. Adaptation de la carte à cristallin piézoélectrique série

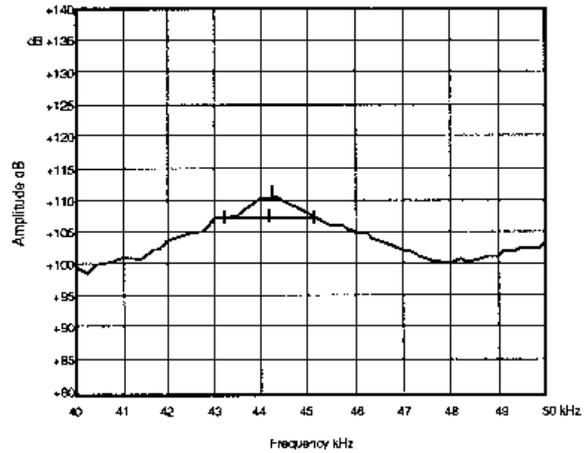
La carte créée par polaroid a été conçue initialement pour fonctionner avec un cristal piézoélectrique série 7000. Or, les sonars doivent être implantés sur un véhicule, il faut donc des capteurs étanches, très résistants au choc et ayant un cône de détection le plus large possible. Le cristal série 7000 ne possédant pas ces caractéristiques, notre choix s'est porté sur le cristal piézoélectrique série 9000.

Ce cristal piézoélectrique a des caractéristiques propres assez différentes du série 7000, il a fallu faire un certain nombre de modifications sur la carte polaroid 6500.

Tout d'abord, comme le montre le graphique ci-après, que ce soit en mode émission ou réception, la fréquence optimale d'excitation de ce cristal piézoélectrique est de 45 KHz. C'est pourquoi le quartz associé au TLP851 a dû être changé. Ce circuit divisant par 8,5 la fréquence du quartz, il a fallu remplacer le quartz de 420 KHz, par un quartz de 384 KHz.



Typical Receive Response



Typical Transmit Response

Figure II.11 : Réponse typique de transmission et de réception

Le filtre passe bande LC permet d'éliminer les perturbations que pourrait subir le cristal piézoélectrique. La fréquence centrale de ce filtre est donc déterminée par la fréquence pour laquelle l'amplitude des oscillations du cristal piézoélectrique est maximum. Comme le montre le schéma précédent, l'amplitude est maximale pour une fréquence F_0 de 45 KHz. Or, $F_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \times C}}$, ce qui implique une inductance de 1mH en parallèle avec une capacité de 12 nF. Il faut donc rajouter une capacité de 2,2 nF parallèle à C1.

En augmentant la résistance R1, qui fixe le seuil minimal de détection, il est possible d'étendre le cône de détection au détriment de la directivité (ce qui peut être un inconvénient). Il est donc intéressant de placer des résistances de 68 K Ω pour les capteurs situés sur le toit et de 25 K Ω pour ceux de la ceinture (voir le positionnement des capteurs page 13).

Enfin, il faut faire une adaptation d'impédance car les deux cristaux piézoélectriques séries 7000 et 9000 n'ont pas la même impédance. Pour cela, il faut rajouter sur E1 une capacité de 1nF en série avec une résistance de 470 Ohms.

L'adaptation de la carte 6500 au cristal série 9000 entraîne les modifications suivantes :

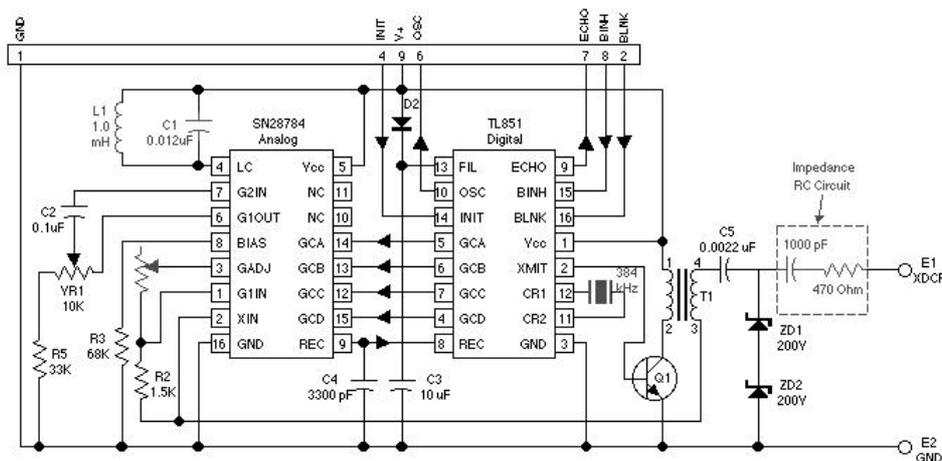


Figure II.12 : schéma des modifications apportées au circuit

Mode de fonctionnement et réception du signal

Le mode single-echo implique la mise à l'état zéro des signaux BINH et BLNK, qui sont des entrées sur la carte 6500, dont le courant d'entrée est limité à 1mA (max). Dans l'éventualité de l'utilisation du mode multi-échos, il faut mettre une résistance entre le GND et ces deux entrées. La carte 6500 peut être alimentée entre 4,5 et 6,8 V et pour une raison d'homogénéité avec d'autres composants, la tension d'alimentation est fixée à 5 V. Toutefois, il est préférable de se placer dans le cas le plus défavorable pour le calcul de la résistance, soit pour une tension de 6,8V. C'est pourquoi la résistance de limitation de courant est de 6,8 K Ω .

De plus, pour commander le départ et l'arrêt d'une lecture, il faut appliquer à INIT un créneau d'amplitude 5V dont la période est fixée par la distance que l'on souhaite mesurer. Cette broche étant, elle aussi, une entrée, il faut là encore associer une résistance de 6,8 K Ω .

Enfin, la sortie ECHO du TLP851 est à collecteur ouvert, elle ne peut pas débiter plus de 100 μ A. Il faut donc rajouter en sortie une résistance de tirage. Comme nous le verrons plus loin, cette sortie commandera un optocoupleur dont la diode réclame très peu de courant. Une résistance de 10 K Ω est parfaitement adaptée.

En résumé, INIT, BLNK, BINH et ECHO impliquent la commande suivante (voir annexe page35) :

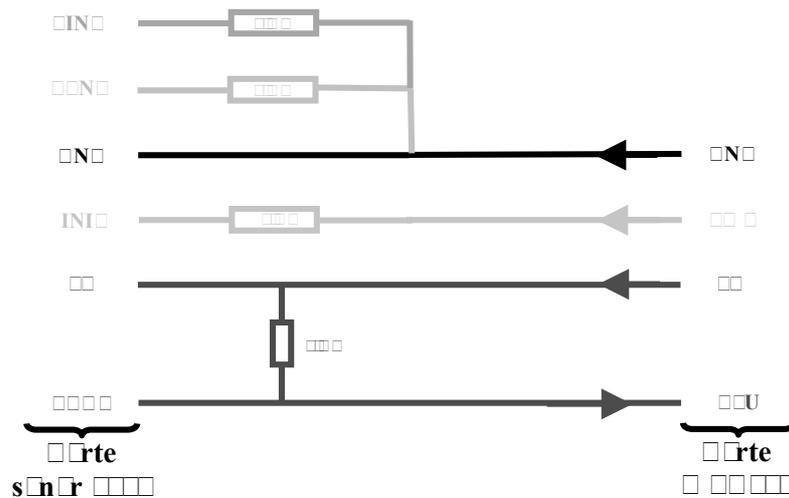
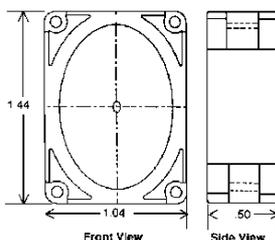


Figure II.1: schéma de connexion des entrées et sorties de la carte des capteurs correspondantes à celles utilisées pour le câblage sur les cartes

Caractéristiques techniques du capteur ultrasonore



Le cristal piézoélectrique série 9000 a une structure asymétrique, ce qui lui procure des angles d'émission et de réception particuliers.

Comme nous pouvons le voir sur les schémas suivants, Nous avons une émission quasi optimale (atténuation acceptable) pour un angle de 40° et la réception optimale se fait pour un angle de 15°.

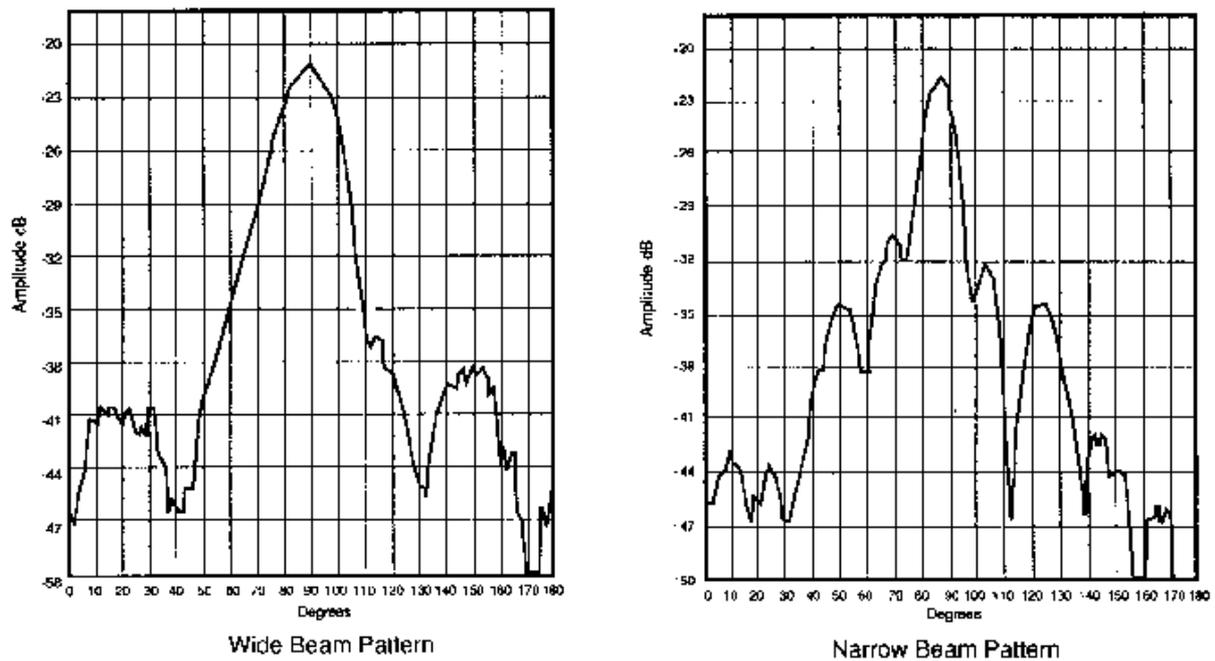


Figure II.10 : Split de des scintillations en fonction de l'angle d'incidence

La validation du cône de détection a été réalisée en plaçant un kit sonar 6500 associé à son cristal piézoélectrique sur un pied photo. Les signaux BINH, BLNK et ECHO sont connectés à leur résistance sur une plaque de test. Le signal INIT est généré par un GBF. Pour visualiser le cône, il a suffi de déplacer un objet aux arêtes franches. Un oscilloscope relié au signal ECHO permet de visualiser la détection de l'objet. Les mesures sont en annexe page 35.

Le résultat de ces tests a été significatif, car le cône théorique donné par polaroid a bien été vérifié. Toutefois la détection d'un objet pour des angles de 15 et 40° est très aléatoire. La position de l'arête de l'objet est alors importante pour avoir un rebond de l'onde d'amplitude suffisante. Le test de l'ensemble des capteurs permet plutôt de déterminer des angles de détection d'objets de l'ordre de 15° et de 40°.

De plus il a été possible de dégager l'influence du gain, de l'inclinaison et de la hauteur du capteur sur la détection et la mesure de l'obstacle. Ainsi il est possible de dire qu'en plaçant le capteur en altitude, nous augmentons la largeur du cône et la hauteur de l'objet détectable.

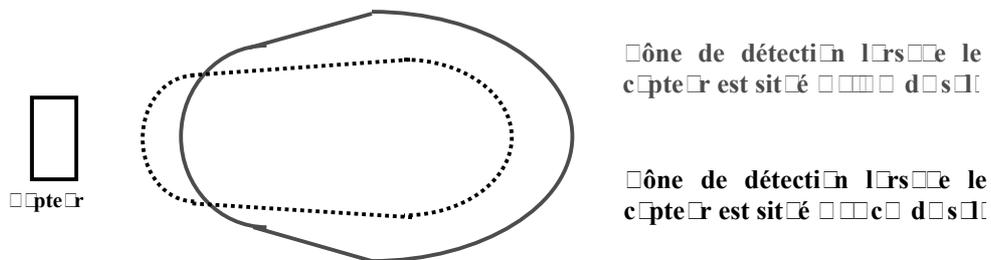


Figure II.11 : Influence de la hauteur du capteur sur le cône de détection

L'augmentation de la résistance de gain R1 permet une augmentation du cône de détection et de la taille de l'objet détectable. Un changement d'inclinaison du capteur par rapport au sol permet de faire varier la diffraction des ondes sonores. Ainsi, lorsqu'on augmente cet angle, on diminue l'effet de sol en mode réception et on diminue la hauteur de l'objet détectable.

L'ensemble de ces éléments permet de jouer sur différents paramètres. Le fonctionnement optimal se fait d'une part avec une résistance de gain forte (pas trop pour ne pas capter le moindre parasite) et d'autre part avec le capteur placé le plus haut possible pour avoir un cône de détection important et un angle assez ouvert pour atténuer l'effet de sol.

Toutefois, les ultrasons permettent de détecter des objets plans placés perpendiculairement au faisceau d'ondes émises. Une variation d'angles affecte la précision et la sensibilité. C'est pourquoi le kit 6500 ne peut pas tolérer une variation d'angle excédant 15°. Cet état de fait implique que pour détecter des objets complexes, il va falloir multiplier les capteurs et les faire loucher, afin d'avoir une couverture maximale.

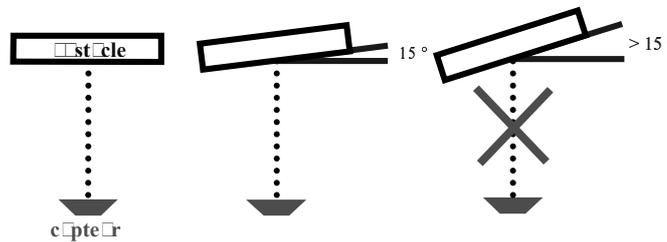


Figure II.10 : limite de détection d'un objet

II.2.2.2. L'ARRIÈRE

Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, pour avoir un cône de détection important et une détection maximale d'obstacles, il faut prendre en compte de nombreux paramètres. La coque de la partie avant du CyCab ne permet pas le positionnement en hauteur de capteurs. Par conséquent les capteurs positionnés sur le toit seront les capteurs arrière. Il faut également faire loucher autant que possible les capteurs, afin qu'ils détectent les objets complexes. Le gain doit, là aussi, être fonction de l'orientation et de la hauteur des capteurs.

A l'avant, les 7 capteurs seront positionnés sur la ceinture et à l'arrière, 3 capteurs seront placés sur le toit (165 cm de haut) et 4 sur la ceinture (65 cm de haut). L'orientation et les gains exacts des capteurs sont donnés en annexe page 36 et 37.

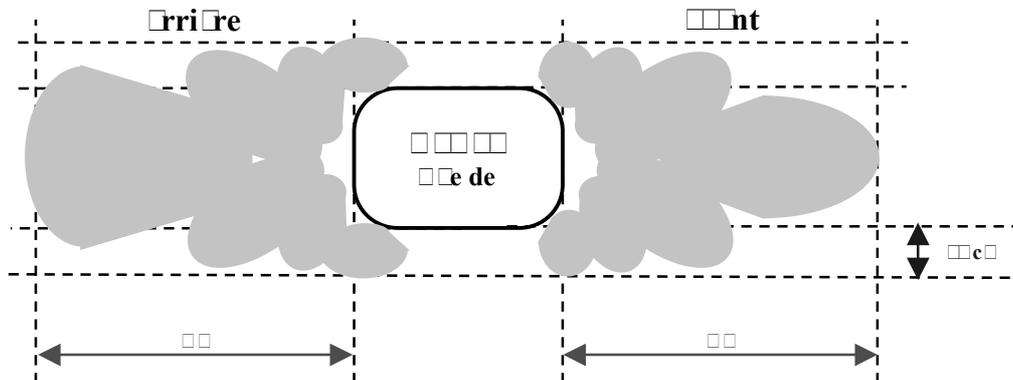


Figure II.11 : schéma de l'implantation de capteurs des capteurs

Chapitre III

AR IN RA A

II INIU

La commande des 7 capteurs avant et arrière se fait par les connecteurs d’extension du nœud ROBOSOFT. Or le kit polaroid sonar 6500 consomme beaucoup (2 A, lors de l’émission d’une salve d’ondes), car le cristal piézoélectrique réclame une tension de 400 V pour son excitation. Un transformateur élévateur génère cette tension, ce qui rend les signaux d’entrées, de sorties et même l’alimentation extrêmement bruités. De plus les broches du microcontrôleur sont directement câblées sur les connecteurs d’extension. C’est pourquoi il est nécessaire de concevoir une carte électronique d’interfaçage, pour isoler les entrées et les sorties reliées au microcontrôleur. L’alimentation de la carte à wrapper se fera par l’intermédiaire de la carte ROBOSOFT qui possède une alimentation, spécifique pour carte d’extension, capable de débiter de 200 mA. Avant d’aller plus loin dans l’étude de la carte d’extension, il faut détailler un petit peu plus le fonctionnement du MPC555.

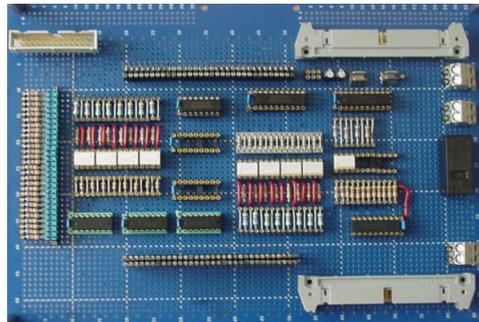


Figure III : photo de la carte d’inter

NON A UIIUR

Pour intégrer les kit polaroid sur le MPC555, il va falloir maîtriser les entrées (pour réceptionner l’ECHO), les sorties de type train d’impulsion (pour générer l’INIT) et les compteurs (pour la mesure du temps de vol).

Le microcontrôleur MPC555 possède une unité de calcul spécialisée générant automatiquement un signal de type *PWM*⁷ (Pulse Width Modulation). Cela permet de décharger le processeur d’un temps de calcul répétitif inutile.

Pour une mesure de temps précise, le MPC555 possède là encore une unité de calcul extérieure *TPU*⁸, pouvant effectuer une mesure de temps en temps réel. Le TPU possède une RAM de stockage et une ROM de microcodes où sont programmées différentes fonctions.

Le fait d’utiliser les unités d’extension dédiées PWM et TPU, permet de réduire de manière significative la charge CPU.

⁷ PWM : signal carré périodique dont on peut faire varier la période et le rapport cyclique.

⁸ TPU : Time Processor Unit

Il existait une fonction de comptage, qui s’incrémentait sur front montant, il a donc fallu écrire une nouvelle fonction en s’inspirant de celle préprogrammée.

La nouvelle fonction écrite en assembleur Power-PC a les caractéristiques suivantes :

- Programmation du compteur pour une mesure de distance directe en millimètre,
- Début du comptage généré par un front montant sur INIT (généré par le PWM),
- Interruption logicielle lorsqu’un front montant apparaît sur le signal ECHO,
- Arrêt du comptage du TPU ayant provoqué l’interruption,
- Remise à zéro du compteur TPU tant que INIT est à l’état bas.

□ □ I □ □ N □ U □ R □ □ □ □ N □ I □ N □ □ □ □ □ U

La carte ROBOSOFT a été conçue exclusivement pour la commande des moteurs du CyCab et ROBOSOFT n’a pas souhaité relier les broches non utilisées du MPC555 sur les connecteurs d’extension. Ainsi seulement 8 canaux TPU (sur 32) et 4 PWM (sur 24) sont disponibles sur ces connecteurs.

Les 8 canaux TPU disponibles posent problème, car cela implique le branchement des signaux d’écho avant et arrière, sur les mêmes entrées TPU. Pour séparer les voix avant et arrière, il faudra utiliser un multiplexeur. De plus, il va falloir brancher les broches ECHO provenant des capteurs sur le bus de données du MPC, afin d’éviter les échos parasites, en mémorisant l’état des entrées lorsqu’un canal TPU génère une interruption.

Afin d’utiliser les 7 capteurs et supprimer des échos parasites, la carte d’interfaçage comportera une partie de logique et des *optocoupleurs*⁹. De plus, l’alimentation simultanée des 14 capteurs provoqueraient une surconsommation non justifiée du système (chaque capteur consomme 100 mA au repos et 2 A lors de l’émission des salves d’ultrasons). Un relais permettra d’alimenter soit les capteurs avant, soit les capteurs arrière, limitant ainsi la surconsommation.

□ □ I □ □ N □ U □ R □ □ □ A □ AR □ □ IN □ R □ A □ A □ □

S’agissant d’un prototype qui ne sera peut être jamais reproduit pour d’autres CyCab, la carte d’interfaçage a été réalisée dans un premier temps sur plaque de tests et dans un deuxième temps sur carte à wrapper. Le rôle de cette carte est multiple, ces différentes fonctions vont être détaillées dans la partie suivante et dans le schéma fonctionnel page suivante. Le schéma général de la carte d’interfaçage se trouve quant à lui en annexe pages 40 et 41.

⁹ optocoupleurs : ensemble constitué d’une LED face à un phototransistor qui commute quand un courant traverse la LED. Cela empêche tout contact électrique entre les 2 parties du montage (isolation galvanique).

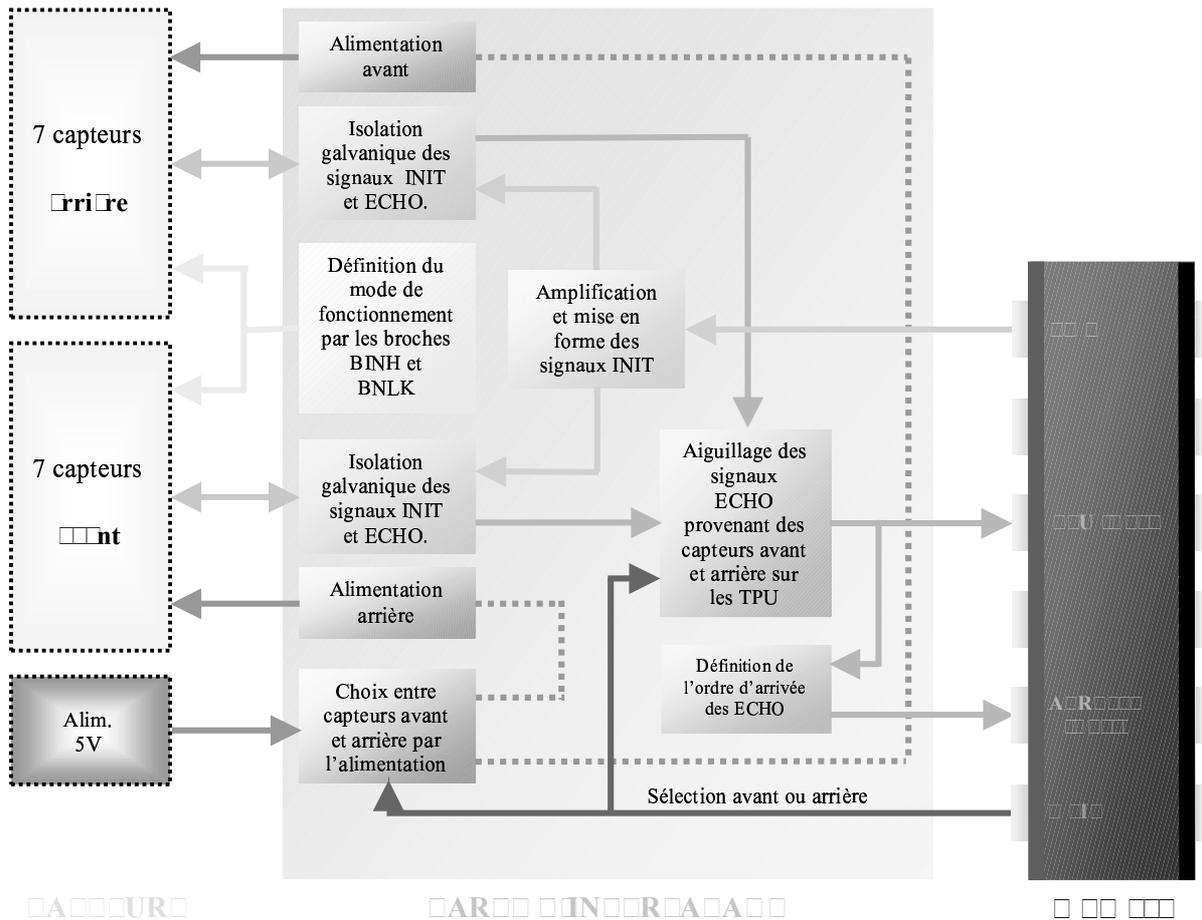


Figure III.1 : schéma fonctionnel de la carte d'interfaçage

Principe de fonctionnement des signaux

Comme nous avons pu le voir précédemment, les broches du microcontrôleur sont directement reliées aux connecteurs d'extension, or celles-ci, ne peuvent pas recevoir ou débiter plus de 1 mA lorsqu'elles sont configurées en entrée ou en sortie. De plus, compte tenu de la grande sensibilité des entrées / sorties et pour ne pas endommager le microcontrôleur, il faut isoler totalement les signaux électriques de la carte MPC de ceux provenant et dirigés vers les cartes sonar 6500. C'est pourquoi les entrées et les sorties devront nécessairement être optisolées.

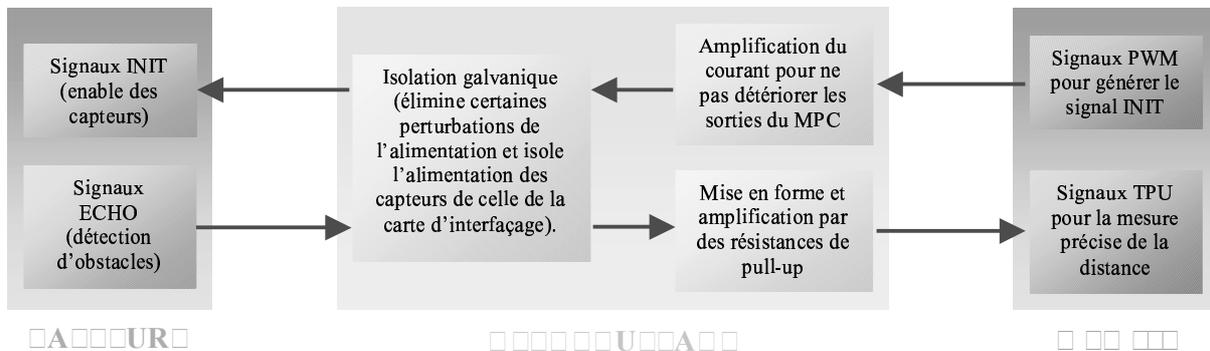


Figure III.2 : schéma fonctionnel de l'isolation et de la mise en forme des signaux

Sortie optocouplée

La sortie du microcontrôleur doit commander l’entrée INIT des kits sonar polaroid 6500. Les sorties du MPC555 ne peuvent pas débiter plus de 1 mA, il est donc nécessaire de relier ces sorties à un buffer (ULN2803) qui délivrera la puissance. Ce buffer étant à collecteur ouvert, il faut utiliser une résistance de tirage de 470 Ω en sortie. L’ULN2803 permet de fournir le courant nécessaire au fonctionnement de l’optocoupleur. Or, le courant passant dans la LED de commande de l’optocoupleur ne peut pas excéder 10 mA, c’est pourquoi il faut placer une résistance de 470 Ω pour limiter ce courant à 9 mA.

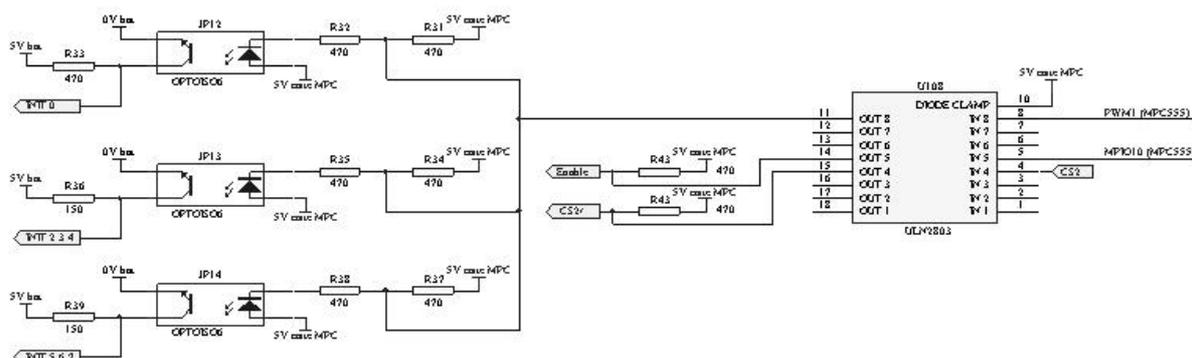


Figure III : schéma des sorties du microcontrôleur

Il faut rajouter une résistance de tirage à la sortie des optocoupleurs pour fournir le courant de 1 mA nécessaire au fonctionnement des INIT. La valeur de cette résistance de tirage varie en fonction du nombre de signaux INIT que doit commander l’optocoupleur. Idéalement, il aurait fallu utiliser un optocoupleur pour chaque signal de commande INIT, mais, pour des raisons de temps et de place sur la carte à wrapper, les optocoupleurs commanderont jusqu’à trois kits polaroid. La carte à wrapper comportera donc deux optocoupleurs commandant trois capteurs ce qui entraîne une résistance de tirage de 150 Ω et un optocoupleur avec une résistance de tirage de 470 Ω pilotant uniquement le capteur 0.

D’autres sorties du MPC555 sont câblées sur ce buffer, elles commandent les circuits logiques de la carte wrapper et par conséquent ne sont pas reliées aux capteurs.

Entrée optocouplée

Seuls les signaux provenant des capteurs 6500 doivent être optoisolés sur les entrées du MPC555. Les signaux ECHO provenant des kits polaroid vont donc être branchés sur les entrées TPU de la carte MPC. La sortie ECHO est à collecteur ouvert et ne peut fournir que 100 μA, ce qui implique une résistance de tirage dont la valeur recommandée par polaroid est de 10 KΩ. De plus, le courant circulant dans la LED devant être bien inférieur à 10 mA, la résistance de limitation est surdimensionnée à 4,7 KΩ, pour limiter le bruit sur le signal ECHO provenant des capteurs. Ainsi on évite toute destruction d’optocoupleur.

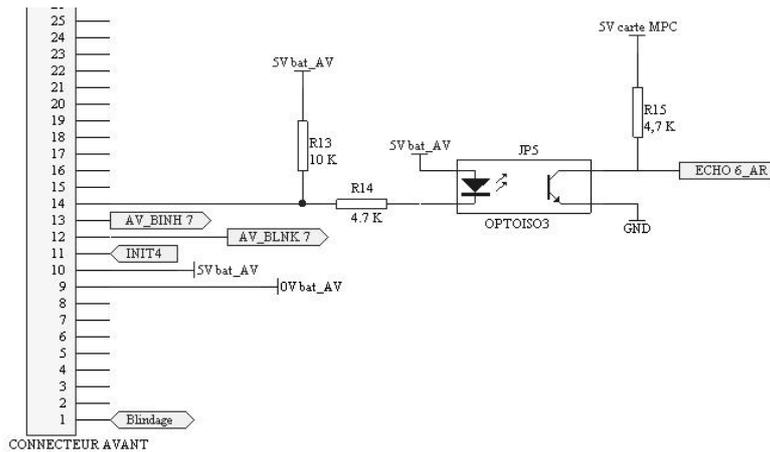


Figure III-1 : schéma des entrées du circuit de contrôle

Le circuit prend des signaux sur les entrées du module

Les signaux ECHO provenant des capteurs avant et arrière doivent être connectés aux mêmes canaux TPU. Or, lorsque le CyCab est en déplacement avant, il n’a pas besoin des informations provenant des capteurs arrière et inversement. Il est donc possible de gérer indépendamment les capteurs avant et arrière en fonction du sens de progression du CyCab.

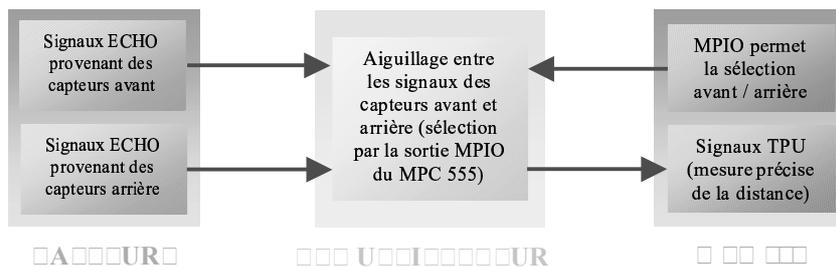


Figure III-2 : schéma fonctionnel du multiplexeur

De ce fait comme nous n’avons pas besoin d’avoir simultanément les signaux provenant des capteurs avant et arrière, un multiplexeur permettra d’aiguiller soit les signaux d’ECHO avant, soit les signaux arrière sur les TPU, en fonction du déplacement du CyCab. Sur le schéma, la commande de l’aiguillage se fait par Enable, qui est une sortie classique (MPIO10) du MPC555. Pour ne pas avoir trop de courant à délivrer, elle est au préalable amplifiée par l’ULN28003 (voir figure 6.1.1.1).

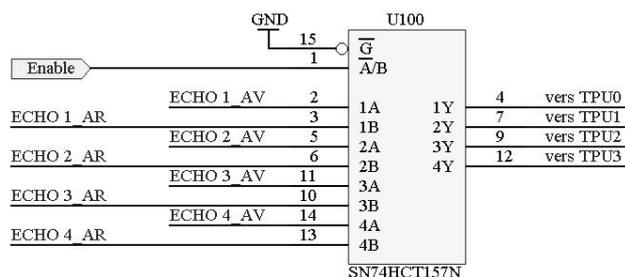


Figure III-3 : schéma du multiplexeur

ROBOSOFT a câblé directement les TPU0 et TPU1 à un récepteur de driver de ligne (entrées différentielles +12, -12V), il faut donc rajouter le circuit transmetteur sur la carte à wrapper. Le circuit émetteur de driver de ligne fonctionnant avec le LTC489 est le 75172.

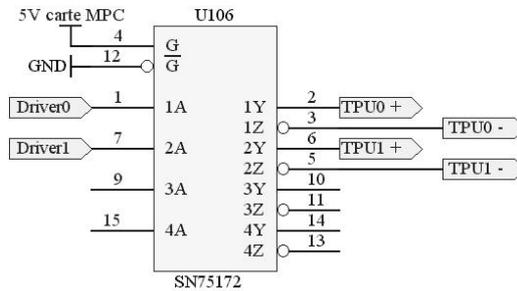


Figure III-10 : schéma du driver de ligne

3.3.2.2.2. Branchement des signaux sur le bus de données de la carte

Dans le but d’éliminer des échos parasites et d’observer l’apparition de plusieurs échos simultanés, les 7 signaux ECHO sont reliés au bus de données pour lire l’état de ce bus lorsqu’une interruption survient. La lecture du bus doit être effectuée uniquement lors du traitement de la routine d’interruption et ne doit plus être connectée aux signaux ECHO le reste du temps, afin de garder la possibilité de connecter d’autres composants sur le bus de données (évolutivité du système). C’est pourquoi l’utilisation d’un latch trois états (74 244) est nécessaire pour connecter ECHO au bus de données.

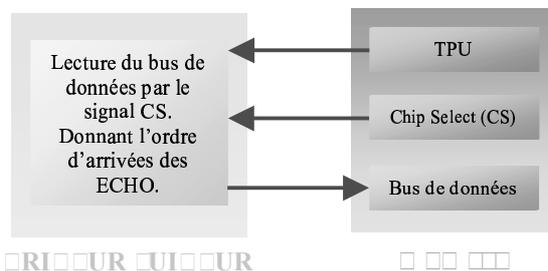


Figure III-11 : schéma fonctionnel du latch

Ainsi lors du traitement de la routine d’interruption, une lecture du bus de données à l’adresse 0x0FF00000 permet de lever le Chip Select 2 et ainsi de sélectionner le driver suivre. L’état des signaux ECHO est alors déterminé par une lecture du bus de données.

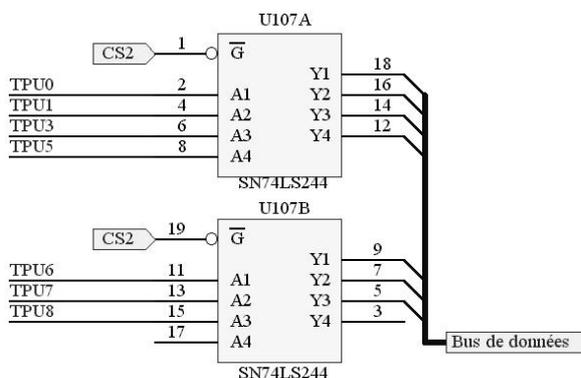


Figure III-12 : schéma du driver sériel

Choix électique entre les capteurs avant et arrière

Un dispositif a été conçu pour permettre l’utilisation soit des capteurs avant, soit des capteurs arrière par commutation de leur alimentation. On a ainsi pu d’une part, connecter un maximum de capteurs (14) sur les 7 canaux TPU disponibles, et d’autre part limiter la consommation du système et donc augmenter l’autonomie du CyCab.

Ce dispositif d’aiguillage des alimentations se fait par un relais, commandé par la sortie MPIO10 qui sert déjà à faire l’aiguillage du multiplexeur.

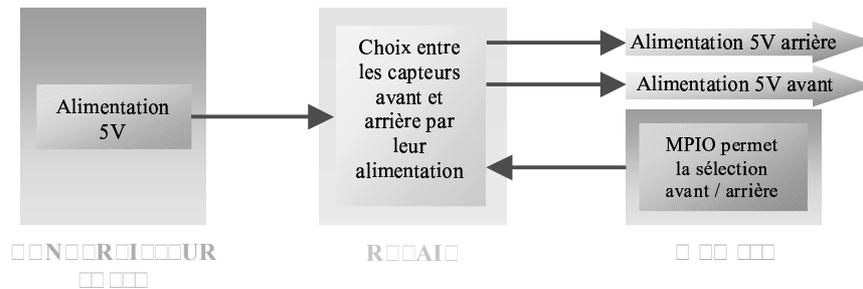


Figure III.10 : schéma fonctionnel de commande de l’alimentation

Un condensateur de découplage placé près de l’alimentation permet d’avoir une réserve d’énergie nécessaire à la commutation rapide des kits sonar, lorsqu’ils sont en émission. La sortie de l’optocoupleur est reliée à un transistor attaquant la bobine de commande.

Pour garder l’isolation galvanique entre les signaux électriques de la carte à wrapper et ceux des capteurs, un optocouplage de la commande d’aiguillage MPIO10 est nécessaire.

La bobine de commande est alimentée par la batterie et épargne ainsi, les 80 mA d’intensité de maintien à l’alimentation de la carte à wrapper. De plus, le CyCab étant plus souvent en marche avant, le connecteur d’alimentation des capteurs avant sera relié à la patte du relais qui conduit lorsque la bobine n’est pas excitée.

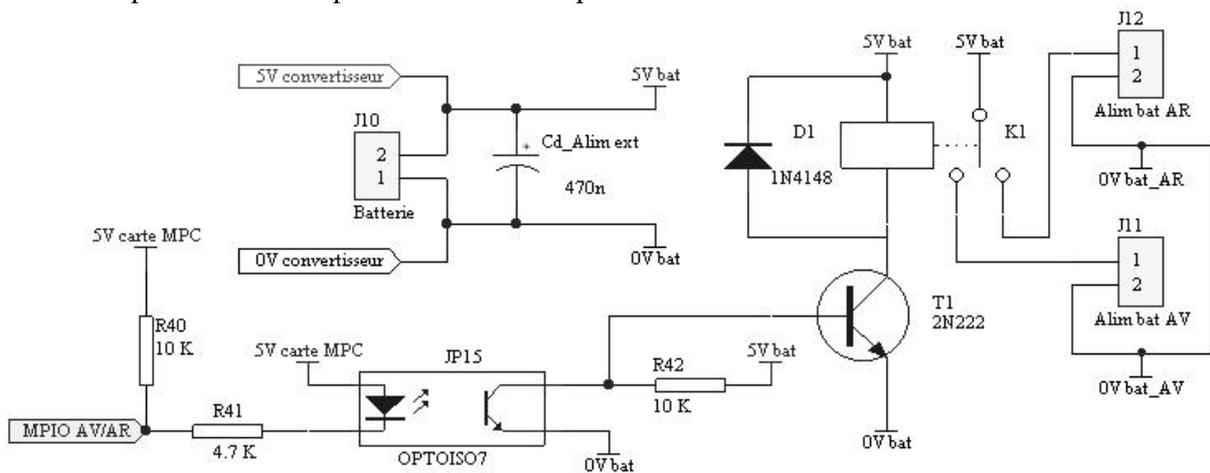


Figure III.11 : schéma de relais permettant l’aiguillage des alimentations

Pour définir la forme du signal PWM, il faut définir la période (registre MPWMSPERRX) et le rapport cyclique (registre MPWMSFULRX). De plus, le lancement du signal PWM, se fait à l'aide du bit 5 du registre MPWMSMSCRX.

Là encore, on peut utiliser la bibliothèque C libnode555, où est définie la fonction **PWMInit()** qui détermine la fréquence. Il faut donc modifier cette bibliothèque (pwmasm.c) pour avoir la fréquence souhaitée de 16 Hz. Ainsi, la fréquence de travail de 40 MHz doit être divisée par 2, grâce au registre PWMSCR et divisée par 4, par le registre MPWMSM□ (X représentant le PWM souhaité). Les derniers digits du registre MPWMSM1_SC permettent une division par 10 de la fréquence (0x54F6). Enfin, le registre MPWMSM1_Pe contrôle la période, la valeur de ce registre indique le facteur diviseur final de la fréquence de travail. Soit un facteur de 32767 (0x7FFF) pour avoir une fréquence de signal PWM de 16 HZ.

La fonction **PWMWrite(int choix_pwm, short int *valeur)** permet de définir le rapport cyclique et donc la largeur de l'impulsion. *choix_pwm* correspond au générateur PWM que l'on souhaite activer (PWM[0 :3]) et **valeur* correspond à la largeur de l'impulsion que l'on souhaite avoir (valeur comprise entre 0 et la valeur du registre MPWMSM_Pe).

Lorsque le signal PWM est à l'état haut un compteur doit permettre de connaître le temps de vol de l'onde, par contre, lorsqu'il est à l'état bas, ce compteur doit être remis à zéro. Il a fallu écrire une fonction, pour connaître l'état du PWM (haut ou bas). Cette fonction **PWMRead(int choix_pwm, int &etat)**, fonctionne de manière identique à PWMWrite. Ainsi *choix_pwm* sélectionne le PWM que l'on souhaite observer et *&etat* donne l'état de ce PWM (si etat Σ 1, alors le PWM est à l'état haut).

□ □ I □ □ N □ U □ R □ □ U □ □ U

La fonction PWM doit être associée à une unité de comptage précise. Le comptage doit débuter lorsque le PWM démarre et doit s'arrêter lorsqu'un signal ECHO est détecté. La valeur du compteur permet alors de déduire la distance. Le compteur ayant la plus grande précision de mesure est le timer TPU. Ce timer est entièrement programmable et comporte des fonctionnalités très intéressantes préprogrammées en ROM.

Pour la mesure précise du temps de vol, on désire compter le temps écoulé entre l'envoi du signal INIT (généralisé par le PWM) et la réception d'un signal ECHO. Pour cela, on utilise la fonction **ITC¹⁰**, qui permet de capturer la valeur d'un compteur TPU en levant une interruption. Le compteur TPU, ayant généré cette interruption, est arrêté et la routine d'interruption est traitée dans le *handler* d'interruption. Il faut étoffer cette fonction en lui ajoutant des actions d'arrêt, d'initialisation, ainsi que de reset et de lecture de l'état de chaque compteur TPU. Ces fonctionnalités ont été écrites dans une bibliothèque (ultraasm.s).

- **TPUStop()** : arrête uniquement le compteur TPU,
- **TPU3Inittcr1()** : gère le timer en définissant l'emplacement en RAM des 7 compteurs,
- **TPUInitUltra()** : initialise la fonction ITC (remise à zéro des interruptions),
- **TPUReset()** : remise à zéro du compteur TPU,
- **UltraRead(int &distance)** : lit la valeur du compteur TPU qui a généré l'interruption.

¹⁰ ITC : Input Transition Counter.

Dans le but de diminuer au maximum le temps de traitement, le compteur TPU a été configuré pour avoir une lecture directe de la distance en millimètre.

Idéalement, chaque capteur devrait être associé à un signal PWM. Cela permettrait d'arrêter la mesure lorsque le temps nécessaire à la mesure de la distance maximale est écoulé. Ceci nécessiterait 14 canaux TPU associés à 14 PWM. Or, tant que le signal INIT envoyé sur un capteur est à l'état bas, un reset du compteur TPU est nécessaire pour démarrer une nouvelle mesure avec un compteur à zéro, lorsque INIT repasse à l'état haut. Seulement la TPU ne possède qu'un seul compteur pour les 16 canaux. Ainsi, lorsqu'un reset est fait, c'est l'ensemble des 16 compteurs TPU qui sont resetés. Par conséquent, le signal INIT doit être commun aux 7 capteurs et donc à 7 TPU. Ce signal INIT possède les caractéristiques nécessaires au fonctionnement du capteur ayant la plus grande distance à mesurer. Pour adapter ce signal aux capteurs ayant des mesures de distances plus courtes, il faudra masquer les échos des capteurs dont le temps, correspondant à la distance maximale couverte, est écoulé.

UR U UN

La fonction *ReadEtatCap(int &val)*, permet de lire les bits de données D[9:15]. Elle a été créée à partir de la fonction *WatchDog()*, qui permet de s'assurer que le programme n'est pas bloqué, en levant régulièrement le chip Select 2, avec une lecture à vide (à une zone mémoire donnée). Donc, la fonction *ReadEtatCap(int &val)* permet de stocker dans la variable *val* l'état du bus de données situé à l'adresse 0xFF0000, levant ainsi le CS2. Ce chip select sert à valider le latch durant le temps de la lecture.

RU UR U R RA

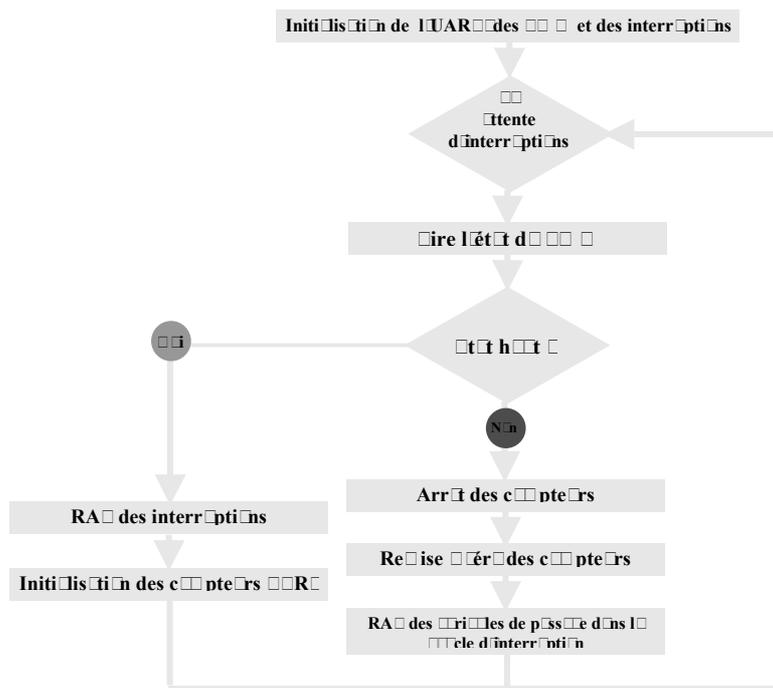


Figure 10: Algorithme de principe

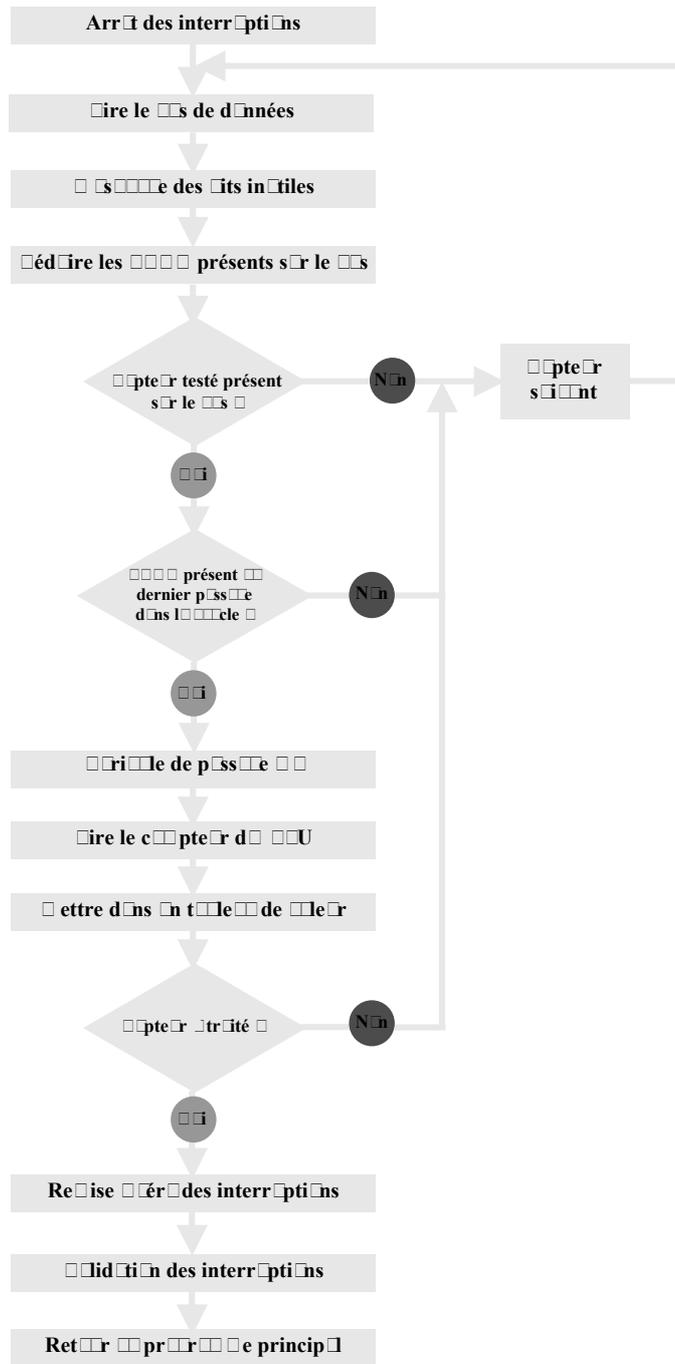


Figure 1.10: Algorithme de l'routine d'interruption

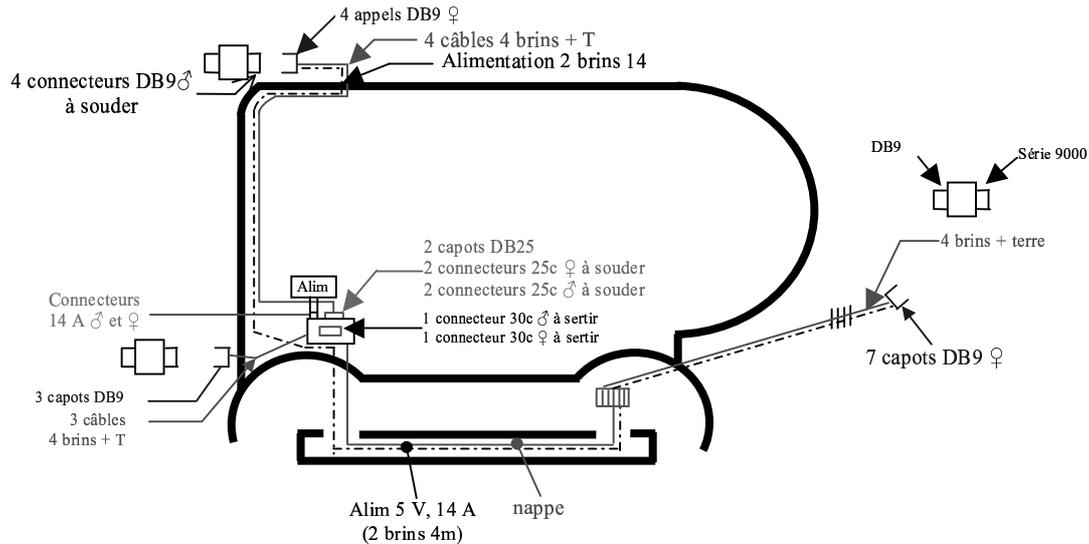


Figure 1 : schéma de câblage matériel

Le matériel utilisé est :

L'idéal, pour la fonction *ReadEtatCap(int &val)* aurait été de pouvoir lever une autre interruption que CS2, mais je n'ai pas su associer le CS3 au mapping que j'avais configuré. Quand j'allais lire l'état du bus de données aucun chip select n'était levé.

Afin de ne pas endommager la carte MPC et plus particulièrement le microcontrôleur MPC555, un grand soin a été apporté à la réalisation de la carte wrappée en vérifiant minutieusement que les fils wrappés ne causaient aucun court circuit. De plus, les fonctions ont été montées et testées l'une après l'autre sur la carte à wrapper et sur le nœud ROBOSOFT. Toutefois, notons que quelques problèmes subsistent.

Tout d'abord, il a été possible de mettre en évidence un dysfonctionnement du TPU4 sur la carte ROBOSOFT, par conséquent le TPU4 a été remplacé par le TPU8.

Ensuite, le TPU0 ne fonctionne pas correctement. En effet, son fonctionnement paraît être aléatoire et le fait que le TPU1 fonctionne parfaitement, semble orienter les recherches sur un fil mal wrappé ou sur les composants SN75172 (carte à wrapper) ou LTC489 (nœud ROBOSOFT) endommagés. Toutefois, notons qu'il suffit d'une petite pression sur une extrémité de la carte à wrapper pour faire fonctionner le TPU0.

Rappelons que pour ne pas avoir à changer les valeurs des résistances d'attaques des INIT, il faut bien connecter la totalité des capteurs sur la carte d'interfaçage.

Enfin, la consommation de la carte wrappée connectée à la carte MPC est de 65 mA. Dans cette même configuration, la carte MPC consomme 90 mA et la batterie 200mA en marche avant et 280 mA en marche arrière (l'écart est dû à l'énergie de maintien du relais).

□□ □□□□ □U □□I□I□R □□ □□□ □ AN□□ □□ □□□□ □A□□□UR□

ATTENTION : le branchement de plus d'un capteur sur la carte à wrapper, provoquait des mesures erronées. Après, une longue période de recherche de cette panne, il s'est avéré qu'il s'agissait d'un bruit très faible (0,5 V) et très ponctuel présent sur les signaux BINH et BLNK de la carte 6500.

Je n'ai pas pu déterminer exactement la nature de ce bruit, il semble que ce ne soit ni le kit 6500, ni l'alimentation qui s'écroule, ni un problème d'atténuation de signal (la longueur des câbles est quand même de 2,5 mètres). Toutefois, cette perturbation de 0,5V est la tension maximale que doit avoir le signal bas de la carte 6500. Cette tension est alors suffisante pour forcer le kit à basculer en mode réception. Or, le signal de perturbation apparaît avant la relaxation du cristal, ce qui entraîne la réception d'un signal fantôme.

La solution retenue n'est pas très satisfaisante, car elle annihile les efforts faits pour garder la possibilité d'utiliser le mode multi-écho. En effet, pour remédier à ce problème, les fils fixant les signaux BINH et BNLK sont déconnectés des cartes 6500 à l'intérieur du boîtier et les 2 résistances de 6,8 K Ω sont directement soudées sur la carte.

Ainsi si le besoin se fait sentir d'utiliser le mode multi-écho, il faudra résoudre ce problème de bruit, dessouder les résistances fixant le mode d'utilisation et reconnecter les fils provenant de la carte à wrapper.

Pour effectuer le test du système, les modifications citées précédemment ont été apportées à 7 capteurs.

Pour des raisons de temps, le système de détection n'a pu être testé qu'en statique. Ces tests sont très encourageants, car les capteurs, associés à la carte MPC donnent des mesures très précises. La précision est de 3 à 5% pour les mesures de distances inférieures à 0,8 mètre et de 1% à partir de 1 mètre.

On peut aussi souligner qu'avec l'utilisation de toutes ces fonctions dédiées, la charge CPU est très faible et permet ainsi d'être utilisée pour le traitement d'autres tâches. Une mesure de 6 capteurs regardant un objet situé exactement à la même distance de chacun des capteurs a permis de vérifier que le programme ne perdait pas le temps réel et affichait la même distance pour chacun des capteurs.

Bien que les tests en dynamique n'aient pas pu être réalisés, il semblerait que le système ne soit pas très sensible à la forme des objets.

En effet, un pseudo test dynamique a été effectué en plaçant 6 capteurs sur une table roulante, en essayant de leur donner des orientations proches de celles qu'ils auront sur le CyCab. En faisant avancer la table roulante vers des objets orientés de manière à ce qu'ils soient difficilement détectables, force est de constater que le système détecte assez facilement les objets, alors qu'un seul capteur ne le permettait pas. Par conséquent, Il faudra peut être revoir le gain et l'orientation des capteurs, car il sera peut-être possible d'augmenter la zone de détection.

Chapitre I

CONCLUSION

Pour le service robotique, ce stage a été mené à terme. Son fonctionnement est conforme au cahier des charges, et les dysfonctionnements de la carte wrappée constatés, devraient être résolus sans grande difficulté. De toute façon, ces dommages n'altèrent pas le fonctionnement du dispositif de détection d'obstacles.

L'intégration à l'architecture matérielle du CyCab par le bus CAN2 et le traitement de la position des obstacles par triangulation ou par modèle probabiliste, se fera dans le cadre d'un autre projet.

Sur un plan personnel, ce stage a été très formateur, car il m'a permis de gérer et de mettre en œuvre toutes les étapes de la réalisation d'un projet, en partant de la spécification, de l'étude des capteurs, de la réalisation d'une carte d'interfaçage, en passant par l'étude d'un microcontrôleur complexe, de sa programmation en assembleur et en langage C, pour finir par le câblage et la conception des boîtiers pour intégrer l'ensemble du système.

J'ai ainsi pu voir tous les aspects d'une étude, en travaillant, d'une part, sur l'élaboration et l'intégration du matériel, d'autre part, sur la mise en œuvre par le microcontrôleur et enfin sur la maintenance et le debuggage de ce système.

Pour réaliser ce système de détection d'obstacles, il m'a fallu acquérir une bonne méthode de travail à la fois pour résoudre les multiples problèmes matériels que j'ai rencontrés et pour gérer l'avancement de toutes les étapes du projet. Ainsi il m'a fallu gérer ma propre charge de travail, mais aussi celle des personnes qui possédaient les compétences nécessaires à la résolution des problèmes qui se présentaient.

J'ai aussi pu me familiariser avec l'environnement de travail et de développement UNIX, qui est extrêmement implanté dans l'industrie et à l'INRIA.

Ce stage représente pour moi une réelle immersion dans la vie professionnelle et achève ma formation en IUP, formation que j'avais choisie pour agir sur des procédés physiques à l'aide d'outils informatiques.

Annexes

ANNEXE 1 : CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

Le CyCab est un prototype de petit véhicule électrique devant servir de plate-forme expérimentale aux équipes de robotique et vision de l'Unité de Recherche Rhône-Alpes. Il a été construit sur la base d'un châssis tubulaire raccourci qui supporte une coque.

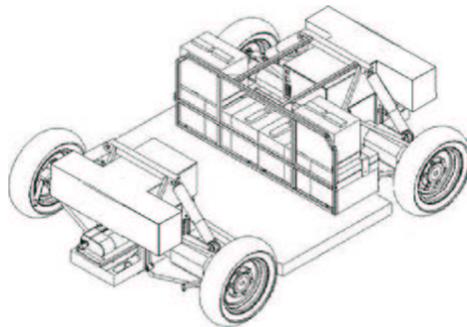
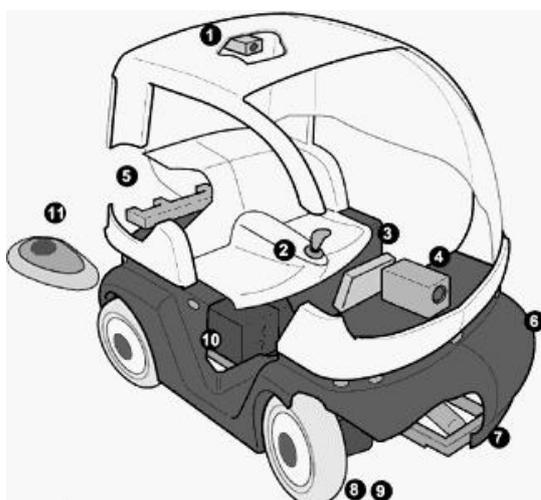


Figure 1 : schéma du châssis raccourci

Ce véhicule est en fait une voiture de golf Andruet totalement revue et corrigée.

- 4 roues motrices et directrices indépendantes ;
- un dispositif de frein mécanique actionnable électriquement ;
- Poids du véhicule à vide : environ 300 Kg ;
- Précision des déplacements : 1 cm/s
- Rayon de braquage : 3 m
- Vitesse maximale du véhicule : 30 Km/h sur terrain plat ;
- Pente maximale 10% ;



1. Caméra CCD pour la télé opération
2. Joystick central de commande pour la conduite sécurisée
3. Terminal multimédia
4. Caméra linéaire pour la conduite en train
5. Balises infra rouges pour la conduite en train
6. Capteurs ultrasons pour la détection d'obstacles
7. Vérin de direction électrique
8. moteur électrique par roue
9. frein électrique par roue
10. batteries + gestionnaire automatique de charge
11. Borne de recharge par induction fixée sur la voirie

Figure 2 : vue éclatée du véhicule

ROBOSOFT CAN U A

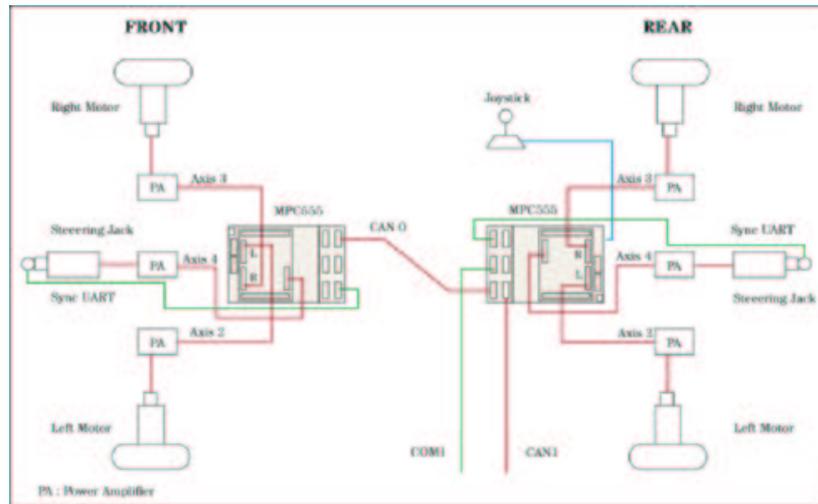


Figure 1 : schéma de câblage des nœuds et des télers du véhicule

L'alimentation du CyCab est assurée par 8 batteries de 12 V qui assurent une alimentation générale de 24 ou 48 V. Le CyCab est un véhicule électrique composé de 4 moteurs à courant continu de 900 Watts chacun assurant la propulsion et de 2 moteurs MCC pour la direction. Les moteurs de traction ont été modifiés. Chaque moteur 900 W (48 V) est couplé à un frein à manque de courant et d'un codeur incrémental.

Comme on peut le voir sur la figure précédente, chaque train est contrôlé par un boîtier technique contenant toute l'électronique de contrôle, de commande et de puissance nécessaires. Ces boîtiers contiennent 3 PWM (un pour la commande du moteur de direction et deux pour les moteurs de tractions), 2 relais pour les freins à manque de courant, les codeurs incrémentaux et bien sûr le nœud ROBOSOFT MPC555 pour commander tout ceci.

Afin de parer à tous les problèmes, deux arrêts d'urgence sont installés, l'un est situé dans l'habitacle et l'autre est actionnable à distance. Un relais statique sur la boucle d'arrêt d'urgence met le véhicule dans l'état freiné s'il n'est pas alimenté. En série avec le secondaire de ce relais statique est monté un interrupteur de commande manuelle des freins de parking.

Le véhicule dispose de 2 nœuds (à base de power PC MPC555, voir descriptif plus loin), pour assurer la direction, le freinage et le contrôle de la vitesse des moteurs.

Au niveau de la communication, les deux nœuds communiquent via 2 réseaux CAN¹¹ et un réseau Ethernet avec un hub disponible pour la connexion de caméra et la programmation des nœuds. En plus des 2 nœuds, ce véhicule possède un PC embarqué permettant le dialogue avec un utilisateur à travers un écran tactile et un ensemble clavier / souris.

¹¹ CAN : bus série asynchrone, à 2 fils symétriques (très utilisé dans le monde automobile).

DESCRIPTION ARI UN NU

Le nœud ROBOSOFT est en fait une carte mère plus une carte mezzanine composées de nombreux ports d'entrées et sorties commandés par un microcontrôleur 32 bits MPC555, à cœur Power-PC (η). Pour l'application de la ceinture ultrasonique, nous n'utiliserons pas la carte mezzanine, car elle sera remplacée par la carte à wrapper.

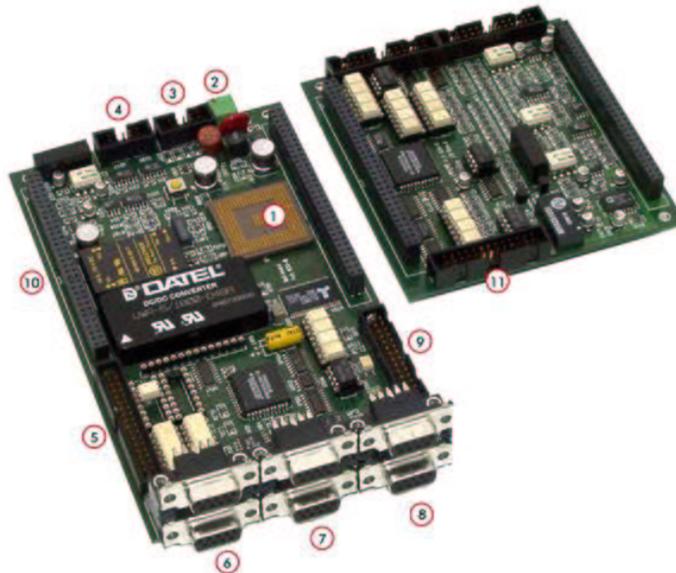


Figure 1: photographie du nœud R

Le principal avantage de cette carte est de posséder de nombreux connecteurs d'extension, qui la rendent très évolutive :

- Un connecteur d'alimentation (ι),
- Un connecteur BDM utilisé pour déboguer la carte par les outils SDS livrés (ϕ),
- Un connecteur de 8 entrées analogiques (κ),
- Un connecteur pour 8 entrées et 8 sorties optocouplées (λ),
- 6 embases DB9 (2 ports série synchrones μ , 2 ports RS232 ν , 2 ports CAN \omicron),
- Un connecteur pour contrôler un axe (π),
- 2 connecteurs 64 points (θ) vers lesquels vient s'enficher la carte mezzanine (11)
- Un écran LCD permet de créer une petite interface homme machine,

Le microcontrôleur MPC555 présent sur la carte mère, est un microcontrôleur 32 bits nouvelle génération de MOTOROLA. Il se présente sous la forme d'un boîtier *FPGA*¹² de 272 broches, alimenté en 3,3 et 5 V et fonctionnant à 40 MHz entre -40 et $+125$ degrés. Ce microcontrôleur possède en interne :

- Un cœur Power-PC avec une unité de calcul en virgule flottante,
- 26 Kbytes de mémoire RAM rapide et 6 Kbytes de RAM pour microcode TPU,
- 448 Kbytes de mémoire Flash EEPROM pour implanter le programme,
- De nombreuses entrées / sorties 5V,
- Système timer 50 canaux avec 2 unités TPU,
- 32 entrées analogiques,

¹² FPGA : Plastic Ball Grid Array.

- 16 sorties PWM, etc...

□□ □□□AI□ □U □□N□□I□NN□□ □N□ □□□ □I□□ □□NAR □□ □AR□I□ □□□□

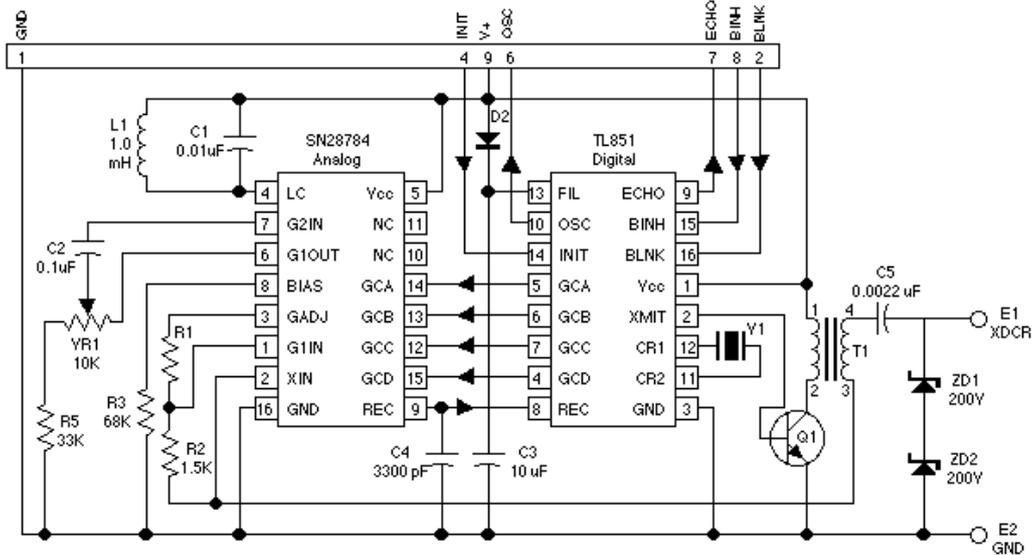


Figure 4.1 : schéma électrique de la carte

Ce kit 6500 est composé d'un cristal piézoélectrique qui est excité par des circuits dédiés, le TLP851 et le TLP852 (SN28784). Le TLP852 est un circuit permettant de détecter d'infimes vibrations (réceptions d'une onde). Ces vibrations sont amplifiées par un dispositif de gain progressif qui est appliqué par le circuit TLP851 dédié quant à lui au calcul de distance. Il comporte la commande du gain progressif et un quartz servant d'horloge pour le calcul de la distance. Il permet aussi d'exciter un cristal piézoélectrique (émission d'une onde).

L'excitation de ce cristal se fait après avoir appliqué un signal haut sur l'entrée INIT du TLP851, ce qui provoque l'émission de 16 salves à la fréquence du quartz divisé par 8,5. Ses 16 salves sont alors amplifiées par un transformateur pour fournir une dynamique optimale au cristal. Le dispositif cesse alors d'émettre et une attente de 2,8 ms est alors générée par le TLP851. Cette attente est générée pour permettre une relaxation totale du cristal piézoélectrique, car le même cristal sert à la fois pour l'émission et la réception d'une onde sonore ce qui permet un gain de place évident. Après ce délai de 2,8 ms le TLP851 cesse de masquer son entrée REC (réception). Le kit 6500 bascule alors en mode réception.

Une commande gain progressif est alors envoyée au TLP852, ce qui a pour effet d'appliquer de manière graduelle le gain au signal envoyé par le cristal. On peut ainsi mesurer une distance de 15 cm à gain nul à 100 m lorsque le gain est maximal. Voir la figure 4.2 page suivante.

Cette amplification croissante permet de ne pas amplifier du bruit, qui de toute façon ne peut pas être élevé, car le cristal piézoélectrique a une plage de variation très faible. L'émission et la réception sont optimales pour une onde de fréquence 45kHz alors que les ondes de fréquences différentes sont rapidement et fortement atténuées.

Une fois qu'un signal est reçu et amplifié, il est comparé, par le TLP851, à une valeur de référence de 1,2V. Dès que le signal reçu dépasse ce seuil, un créneau est généré par un comparateur. Ce créneau indique qu'un écho a été détecté.

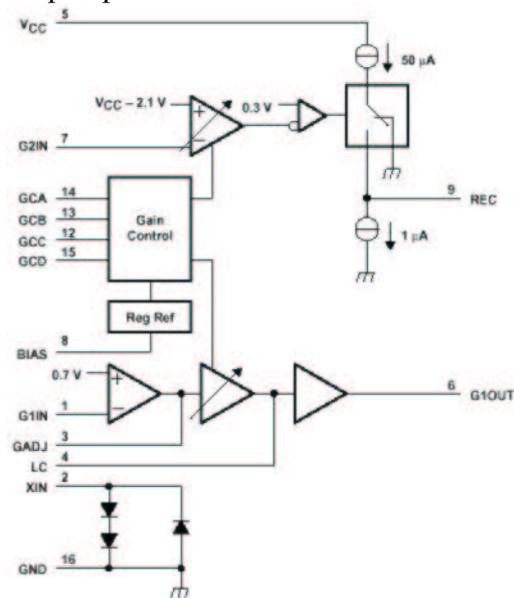


Figure 10: schéma de principe de contrôle d'écho

Pour connaître le temps de vol aller et retour de l'onde sonore, il suffit de compter le temps écoulé entre le moment de l'application du signal d'initialisation et la réception de l'écho.

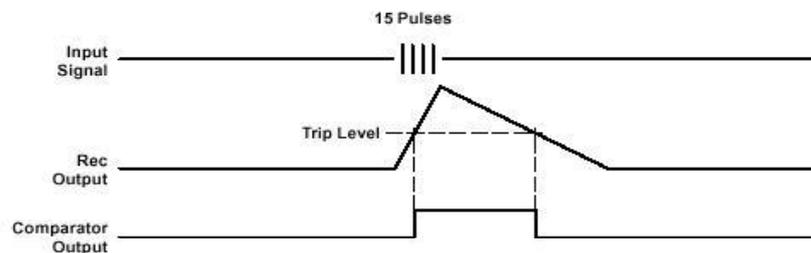


Figure 11: schéma de signal d'initialisation en mode

En mode single-écho, le signal ECHO est initialisé à 0, quand le INIT passe à l'état bas.

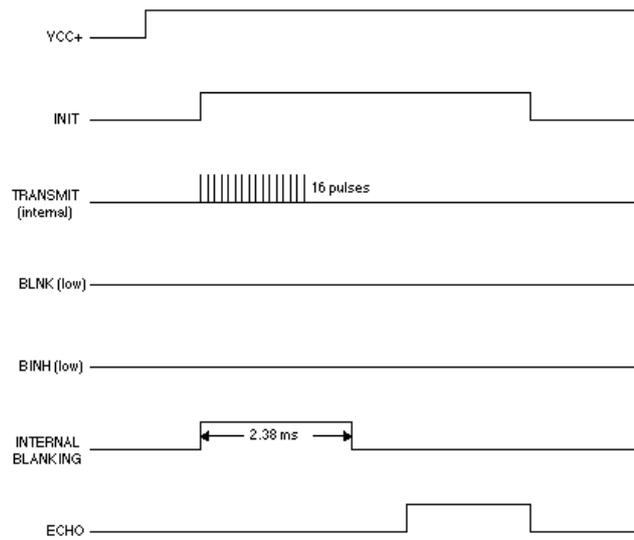
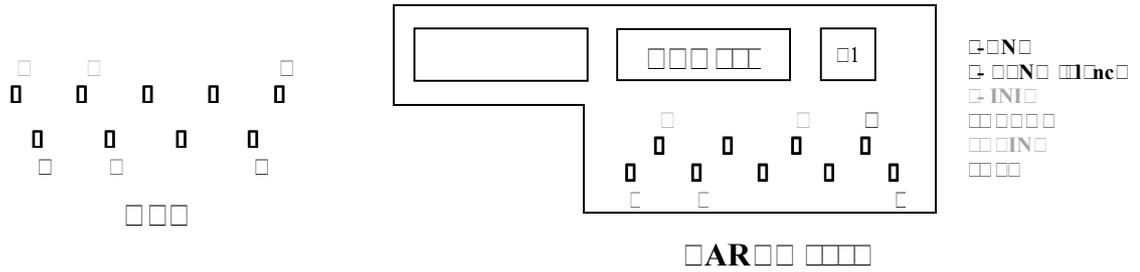


Figure 1: Timing diagram for the single-echo mode

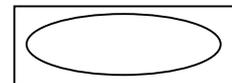
AR



Carte		Couleur des fils	Fonction sur le kit	Fonction sur la carte
4	1	Jaune	INIT	PWM
2	6	Blanc	BLNK	Mode single-echo
8	2	Vert	BINH	Mode single-echo
7	7	Marron	ECHO	TPU
1	9	Noir	GND	Relais
9	5	Rouge	+ 5V	Relais
	carcasse	Gris	Connecté aux boîtiers	Connecté au boîtier

RI AU I RI U

Le constructeur donne un angle asymétrique d'émission et de réception : $35^\circ \pm 3^\circ$ et de $17^\circ \pm 2^\circ$.



Or, les tests des cristaux que nous avons effectués vérifient bien ces données, mais il est plus vraisemblable de prendre en compte l'angle de détection réel d'objets. Il s'agit de l'angle qui a permis d'avoir un retour d'écho sans avoir eu besoin de bouger l'objet.. Ainsi on s'oriente plutôt vers des angles de $25^\circ \pm 3^\circ$ et de $22^\circ \pm 4^\circ$.

Position théorique

C1 = 39,5°	C5 = 19,5°	C9 = 37°	C13 = 51°	C17 = 29°	C21 = 42°
C2 = 42°	C6 = 32°	C10 = 21°	C14 = 36°	C18 = 27°	
C3 = 30°	C7 = 30°	C11 = 26°	C15 = 29°	C19 = 43°	
C4 = 29°	C8 = 27°	C12 = 29°	C16 = 29°	C20 = 36°	

Position théorique

C1 = 31°	C5 =	C9 = 34°	C13 = 27°	C17 =	C21 = 33°
C2 = 21°	C6 = 40°	C10 =	C14 = 32,5°	C18 =	
C3 = 33°	C7 =	C11 =	C15 = 31,5°	C19 = 31,5°	
C4 =	C8 =	C12 = 44°	C16 = 28°	C20 = 36°	

ANNEXE 1 : RENDRE LA SENSIBILITÉ DES CAPTEURS

Le positionnement des capteurs sur le CyCab, pour avoir une surface de détection maximale, est donné par le schéma suivant. Notons que les capteurs C1, C2, et C7 de la partie arrière, sont positionnés sur le toit, les autres sont sur la ceinture du CyCab.

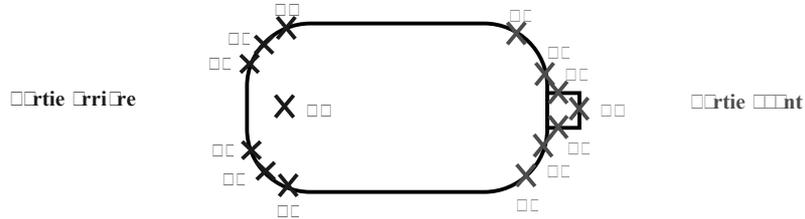


Figure 1 : répartition des capteurs sur le véhicule

L'orientation bidimensionnelle des capteurs est assez complexe. Elle se fait par paire de capteurs. La moindre variation de l'orientation entraîne une déformation importante de la projection du cône de détection sur le sol. Bien évidemment les angles théoriques sont très difficiles à respecter compte tenu du manque de graduation sur les supports des capteurs. Toutefois, la projection du cône de détection se fait selon les trois axes (X, Y, Z).

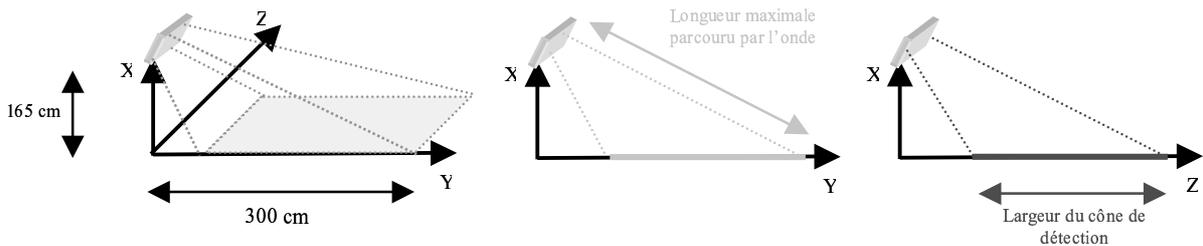


Figure 2 : projection tridimensionnelle de l'onde ultrasonore

En effet, pour déterminer le cône de détection, il faut faire une projection de l'onde sur chaque repère. La projection ne pose pas de problème, car la hauteur (165 cm pour les capteurs de toit et 65 cm pour les autres), la distance maximale de mesure et les angles d'émission et de réception réelles des piézoélectriques, sont connus.

Après la projection de la zone de détection sous la forme d'un rectangle, il ne reste plus qu'à extrapoler une ellipse pour représenter au mieux la position de l'onde. Une extrapolation suffit car les angles des piézoélectriques ne sont en fait qu'une moyenne et les ondes sonores ne se répandent pas uniformément dans cette zone.

Le calcul de ces angles nous amène à la zone de détection donnée en page 13 et aux résultats qui suivent.

Considérons la représentation suivante pour déterminer les angles matérialisant l'orientation des capteurs.

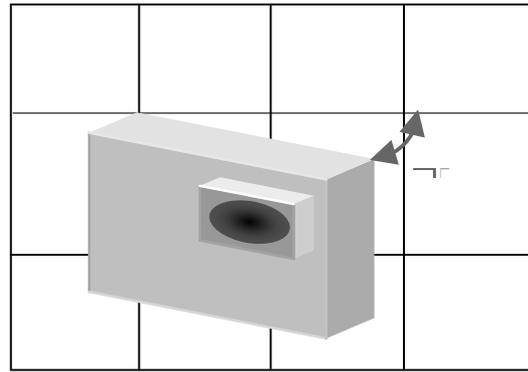
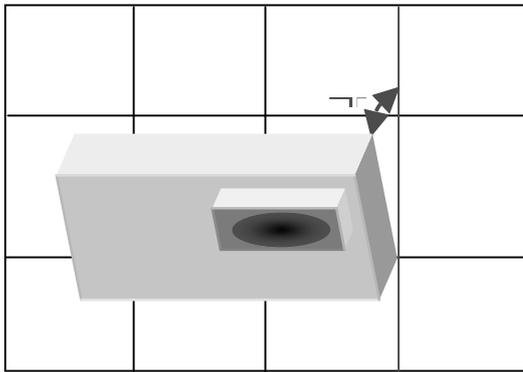


Figure 11: Angle de direction des capteurs déterminant leur position géométrique

Les deux tableaux suivants, révèlent les angles qu'il faut appliquer aux capteurs, pour avoir la zone de détection citée auparavant.

		Capteurs avant						
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
α_1		30°	9°	14°	22°	30°	14°	22°
α_2		15°	0°	60°	40°	- 15°	- 60°	- 40°
R _{GAIN}		22 K∠	22 K∠	22 K∠	22 K∠	22 K∠	22 K∠	22 K∠

		Capteurs arrière						
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
α_1		24°	65°	22°	14°	14°	22°	65°
α_2		0°	15°	40°	60°	- 60°	- 40°	-15°
R _{GAIN}		68 K∠	68 K∠	22 K∠	22 K∠	22 K∠	22 K∠	68 K∠

Pour mieux visualiser l'emplacement des capteurs, voilà comment ils ont été implantés :



Figure 12: emplacement des capteurs sur le robot

A U N U R

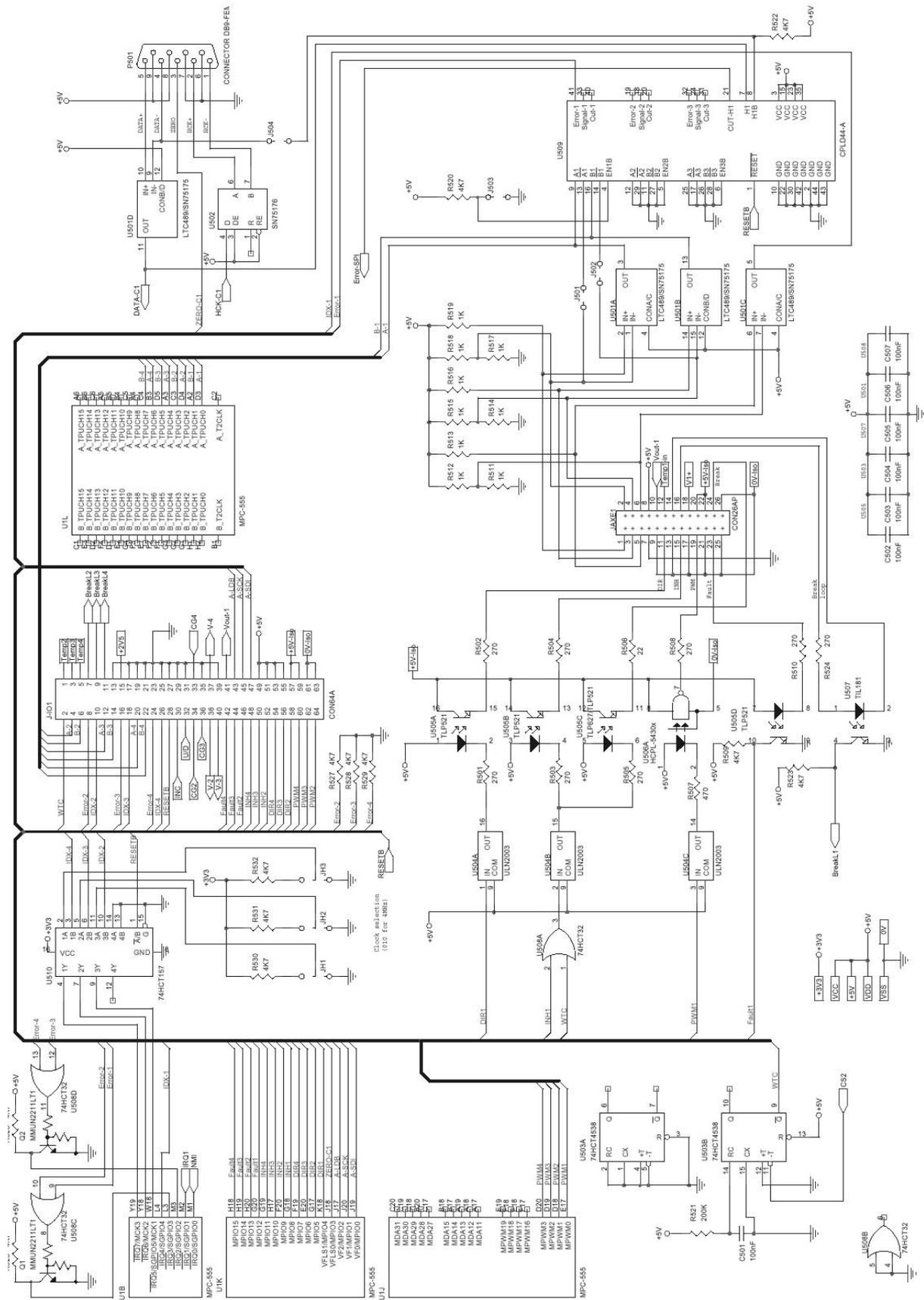
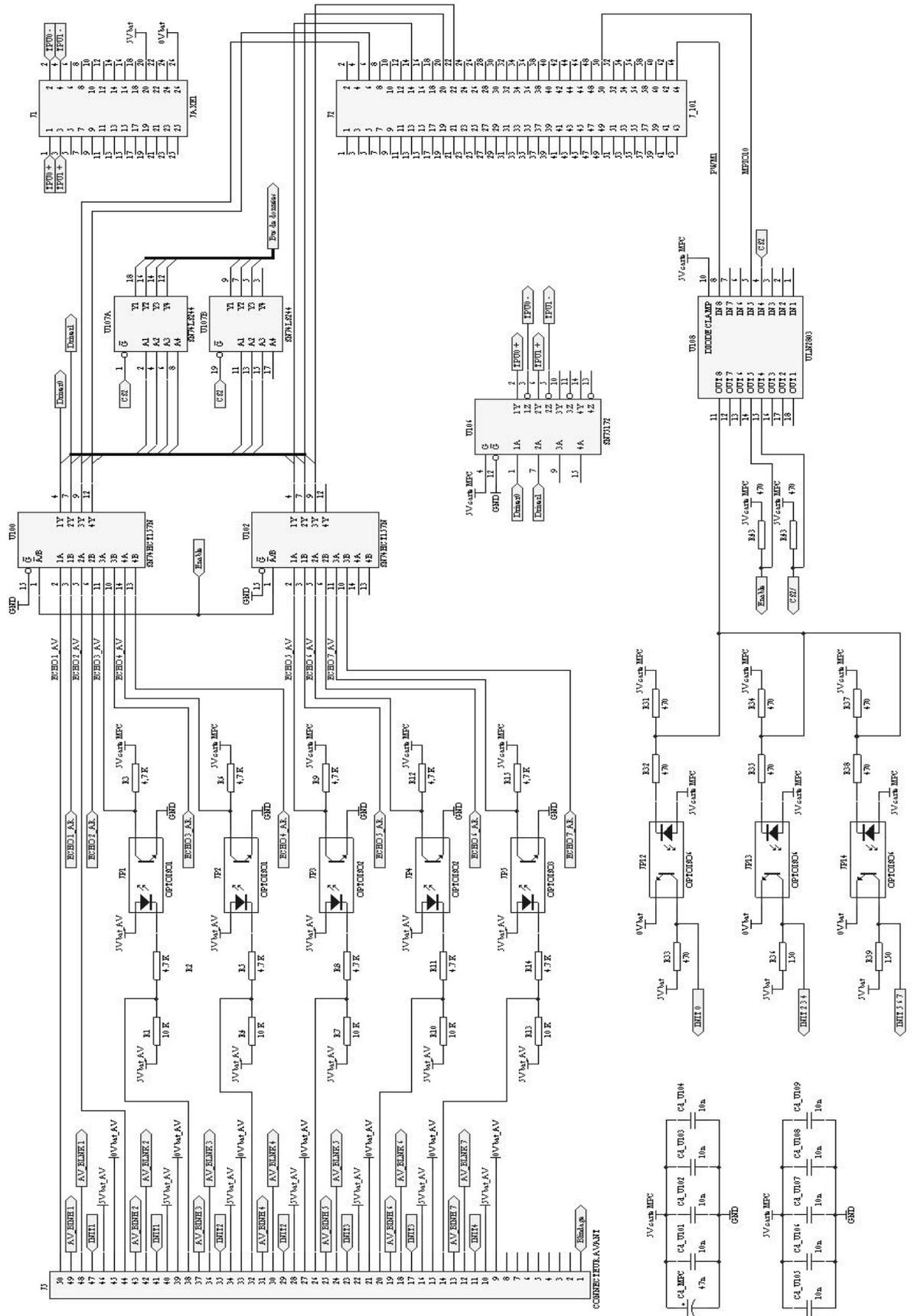


Figure 1: Schematic diagram of the system

□ □ □ □ □ A □ □ A □ AR □ □ A □ RA □ □ □ R



□ i □ re □ □ : □ ché □ □ de □ l □ c □ r □ t □ e □ □ r □ p □ p □ e □ r □ □ p □ t □ c □ □ p □ l □ e □ r □ s □ □ □ □ □ é □ n □ é □ r □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ et □ □ U □ □

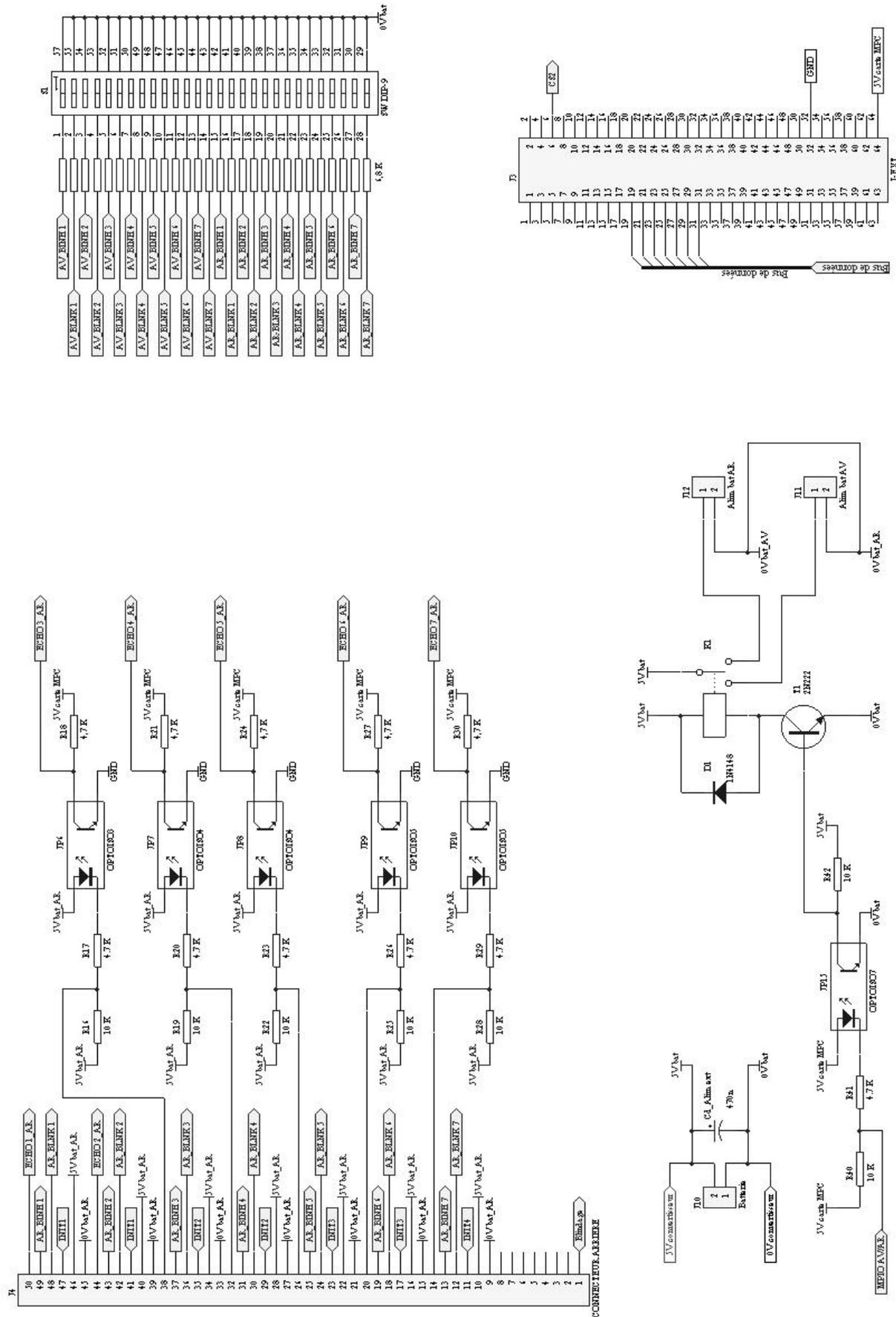


Figure 1 : Schéma de la carte d'interface pour la lecture des données et relais

□□N□□ □N□□A□UR□

descripti□n	□□rt □□pe	dési□n□ti□n	c□□□ ent□ires
Multiplexeur	SN74HCT157N	U100	
Multiplexeur	SN74HCT157N	U102	
Driver de ligne	SN75172	U106	
Latch	SN74LS244	U107	
Buffer darlington	ULN2803	U108	
Transistor NPN	2N222	T1	
Relais	G2RL-1-E	Relais	5 V, 16 A
Diode de roue libre	1N4148	D1	
Optocoupleur	OPTOISO1	JP1	
Optocoupleur	OPTOISO1	JP2	
Optocoupleur	OPTOISO2	JP3	
Optocoupleur	OPTOISO2	JP4	
Optocoupleur	OPTOISO3	JP6	
Optocoupleur	OPTOISO3	JP5	
Optocoupleur	OPTOISO4	JP7	
Optocoupleur	OPTOISO4	JP8	
Optocoupleur	OPTOISO5	JP9	
Optocoupleur	OPTOISO5	JP10	
Optocoupleur	OPTOISO6	JP13	
Optocoupleur	OPTOISO6	JP12	
Optocoupleur	OPTOISO6	JP14	
Optocoupleur	OPTOISO7	JP15	
Résistances de tirage INIT	150	R39, R36	¼ de Watt
Résistances de limitation et de tirage	470	R31, R32, R33, R34	¼ de Watt
Résistances de limitation et de tirage	470	R35, R37, R38, R43	¼ de Watt
Résistances de tirage	4,7 K	R2, R3,R5, R6, R8, R9	¼ de Watt
Résistances de tirage	4,7 K	R11, R12, R14, R15	¼ de Watt
Résistances de tirage	4,7 K	R17, R18, R20, R21	¼ de Watt
Résistances de tirage	4,7 K	R23, R24, R26, R27	¼ de Watt
Résistances de tirage	4,7 K	R29, R30, R41	¼ de Watt
Résistances de réglage du mode	6,8K		¼ de Watt
Résistances de limitation de courant	10 K	R1, R4, R7, R10, R13	¼ de Watt
Résistances de limitation de courant	10 K	R16, R19, R22, R25	¼ de Watt
Résistances de limitation de courant	10 K	R28, R40, R42	¼ de Watt
Capacités de découplage	10n	Cd_U106 à Cd_U109	Aluminium
Capacité de découplage alim. MPC	47n	Cd_MPC	Chimique
Capacité de découplage	470n	Cd_Alim ext	Chimique
Connecteur carte MPC555	JAXE1	J1	
Connecteur carte MPC555	J_101	J2	
Connecteur carte MPC555	J-EXT	J3	
Connecteur de connexion capteurs	CONNECTEUR ARRIERE	J4	
Connecteur de connexion capteurs	CONNECTEUR AVANT	J5	wrapper
Connecteur	Batterie	J10	wrapper
Connecteur	Alim bat AV	J11	
Connecteur	Alim bat AR	J12	
Switch de selection du mode	SW DIP-9	S1	wrapper

Bibliographie

Réports techniques

- [1] Gerard Baille, Philippe Garnier, Herve Mathieu, Roger Pissard-Gibollet :
∇Le Cycab de l'INRIA Rhone-Alpes∇, # 0229, avril 1999
- [2] J-M Bourgeat, P-A Degaches et C. Despinasse :
∇Ceinture à ultrasons∇, IUT GEII, 99/00

Comémention cstrcteur

- [3] Motorola, ∇MPC555 User's Manual∇
- [4] Motorola, ∇MPC55Time Processor Unit Manual∇
- [5] Polaroid, ∇6500 Series Sonar Ranging Module∇
- [6] Polaroid, ∇Polaroid Series 9000 Environmental Grade Transducer∇

ites internet

- [7] La page de l'INRIA Rhône Alpes :
<http://www.inrialpes.fr>
- [8] La page du service Robotique, Vision et Réalité Virtuelle :
<http://www.inrialpes.fr>
- [9] La page du distributeur du kit 6500 :
www.acroname.com/robotics/info/articles/sonar/sonar.html
- [10] La page de Motorola :
<http://www.motorola.com>
- [11] La page de ROBOSOFT :
<http://www.robosoft.fr>
- [12] La page de Texas Instrument :
<http://www.ti.com>