



INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE EN INFORMATIQUE ET EN AUTOMATIQUE

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

Christien erd



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.

# le des titres

## INROUION

### CHAPITRE I - RIION U RAAI R

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 U RA N R

- 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 IN RA A

- 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 ZIRST<sup>1</sup> 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.

---

<sup>1</sup> ZIRST : Zone pour l'innovation et les Réalisations Scientifiques et Techniques

# Chapitre I

## INTRODUCTION AU TRAVAIL PROPOSÉ

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*<sup>2</sup> 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.

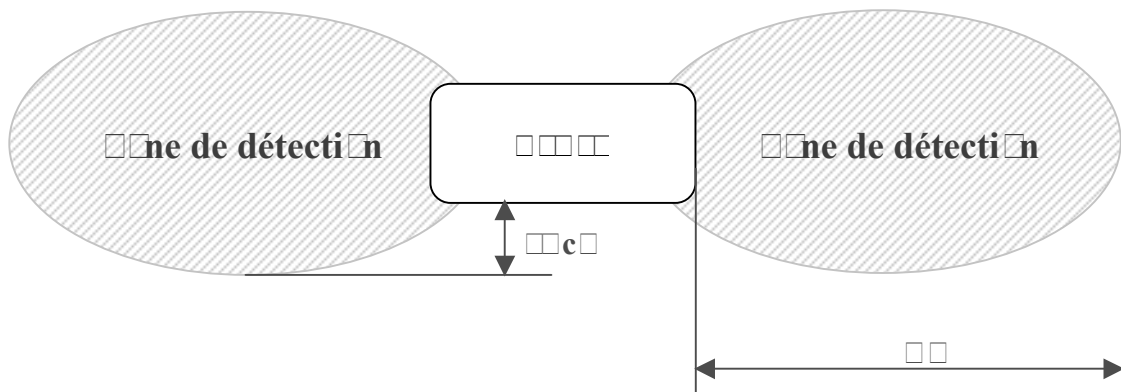
---

<sup>2</sup> PROMOTHEUS : PROgram for an European Traffic with Highest Efficiency and Unprecedented Security

**2.2.1.2.3.2.4.5.6.7.8.9.10.11.12.13.14.15.16.17.18.19.20.21.22.23.24.25.26.27.28.29.30.31.32.33.34.35.36.37.38.39.40.41.42.43.44.45.46.47.48.49.50.51.52.53.54.55.56.57.58.59.60.61.62.63.64.65.66.67.68.69.70.71.72.73.74.75.76.77.78.79.80.81.82.83.84.85.86.87.88.89.90.91.92.93.94.95.96.97.98.99.100**

Les caractéristiques du dispositif de détection d’obstacles doivent être les suivantes :

- Détection d’obstacles opaques ou transparents d’au moins 10 cm de haut,
- Immunité à la fumée et à la poussière,
- Vision d’objets positionnés de chaque côté du CyCab,
- Distance de détection de 3m à l’avant et à l’arrière et de 50 cm sur les cotés du CyCab,



**Figure 1 : Zone de détection théorique du dispositif**

- Compatibilité électrique avec les différentes alimentations disponibles sur le CyCab,
- Faible consommation pour ne pas diminuer l’autonomie du véhicule,
- Intégration et commande du procédé par un nœud ROBOSOFT basé sur un microcontrôleur MPC555 à cœur Power PC,
- Incorporation et dialogue du nœud ‘capteurs’ avec les autres nœuds ROBOSOFT déjà présent sur le CyCab par bus CAN,
- Dispositif de petite dimension pour une implantation discrète,
- Mise en boîtier et positionnement sur le CyCab.

Le travail qui m’a été proposé comprend aussi une phase importante de documentation et de compréhension des capteurs et du nœud ROBOSOFT MPC555, ainsi qu’une phase d’adaptation et de développement sur du matériel linux.

Cette réalisation implique le suivi d’un projet, de sa conception à son implantation, en passant par l’intégration des composants matériels et logiciels.

**2.2.1.2.3.2.4.5.6.7.8.9.10.11.12.13.14.15.16.17.18.19.20.21.22.23.24.25.26.27.28.29.30.31.32.33.34.35.36.37.38.39.40.41.42.43.44.45.46.47.48.49.50.51.52.53.54.55.56.57.58.59.60.61.62.63.64.65.66.67.68.69.70.71.72.73.74.75.76.77.78.79.80.81.82.83.84.85.86.87.88.89.90.91.92.93.94.95.96.97.98.99.100**

**2.2.1.2.3.2.4.5.6.7.8.9.10.11.12.13.14.15.16.17.18.19.20.21.22.23.24.25.26.27.28.29.30.31.32.33.34.35.36.37.38.39.40.41.42.43.44.45.46.47.48.49.50.51.52.53.54.55.56.57.58.59.60.61.62.63.64.65.66.67.68.69.70.71.72.73.74.75.76.77.78.79.80.81.82.83.84.85.86.87.88.89.90.91.92.93.94.95.96.97.98.99.100**

L’INRIA et la société ROBOSOFT ont imaginé un système de transport original de véhicules en libre-service pour les villes de demain. Ce système de transport public est basé sur une flotte de petits véhicules électriques spécifiquement conçus pour les zones où la circulation automobile doit être fortement restreinte. Pour tester et illustrer ce système, des prototypes, nommés CyCab, ont été réalisés.

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.

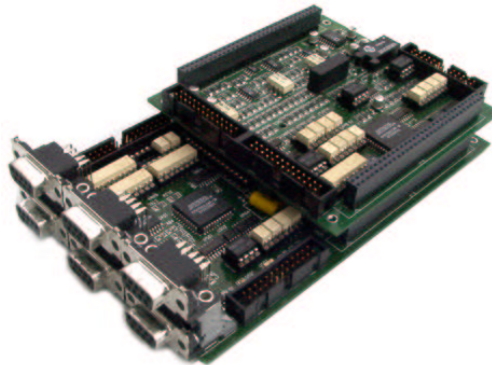


**Figure I.1 :** Vue de profil du véhicule

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

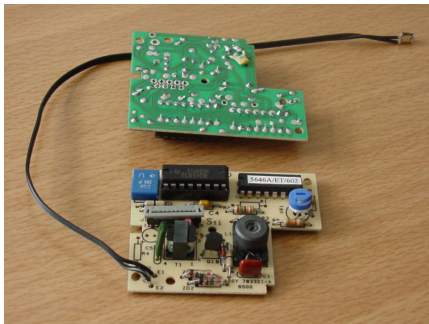
Les outils de debuggage et de développement (SDS) étaient initialement installés sur un PC, qui ne fonctionnait plus à mon arrivée. Or, un problème de communication avec la hot line de windriver, nous a fait abandonner SDS au profit de GCC (the GNU Compiler Collection) sous linux. Notre choix c'est porté 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*<sup>3</sup> 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.1 : Kit principal et cristal piézoélectrique série drite

<sup>3</sup> 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*<sup>4</sup>). 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.

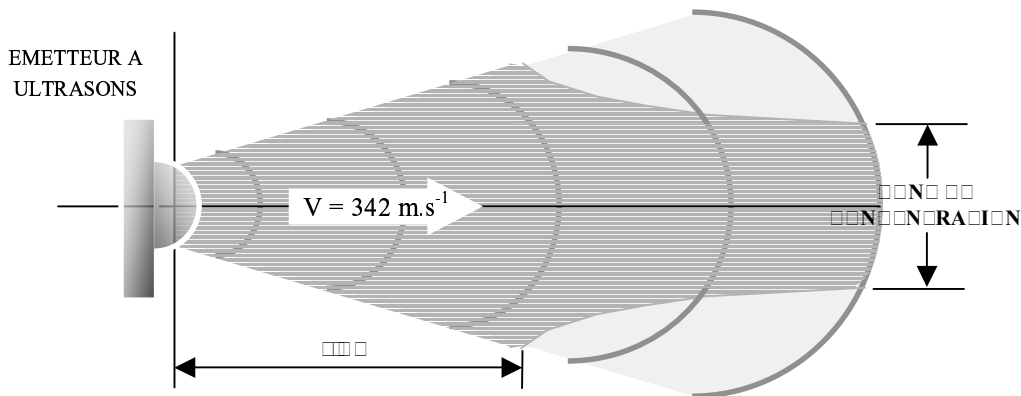


Figure II.1 : concentration d'un faisceau d'ondes ultrasonores avec la distance

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.

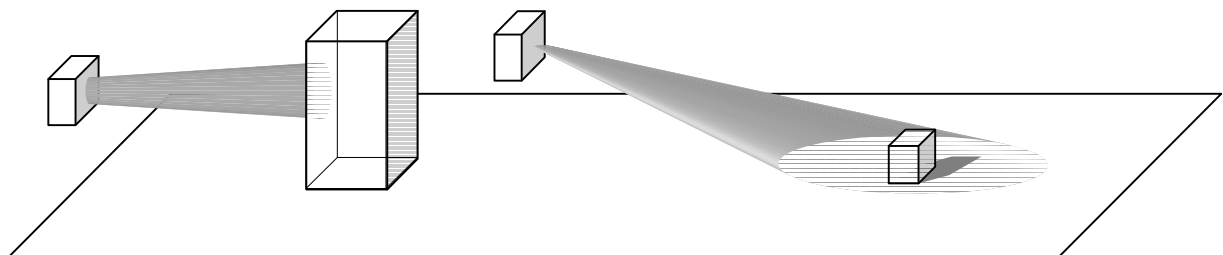


Figure II.2 : dispositif capable de fonctionner en sécurité à distance

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.

<sup>4</sup> 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 distance séparant le capteur de l'objet est alors donnée par le temps de vol aller et retour de l'onde ultrasonore voyageant à environ  $342 \text{ m.s}^{-1}$ .

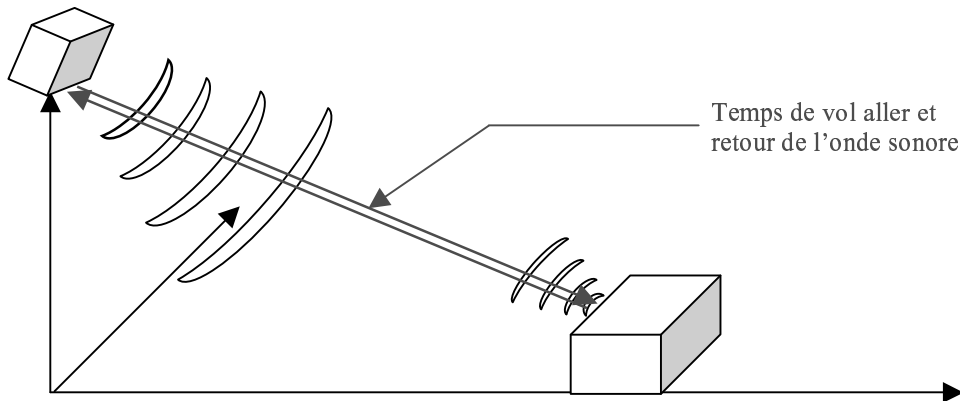


Figure II.1: schéma de principe de l'émission d'une distance

Pour ne pas détecter la moindre aspérité du sol, il faut alors jouer sur le gain et l'orientation du capteur, ainsi que sur les propriétés de diffraction et d'atténuation des ondes sonores. En effet une onde sonore a le même comportement physique qu'une onde lumineuse. C'est pourquoi le sol et les objets réfléchissent les ondes sonores, l'air et les poussières en suspension absorbe le son. Il faut donc trouver un compromis entre ces paramètres pour détecter l'apparition d'un objet et ne rien détecter quand il n'y a rien sur la chaussée.

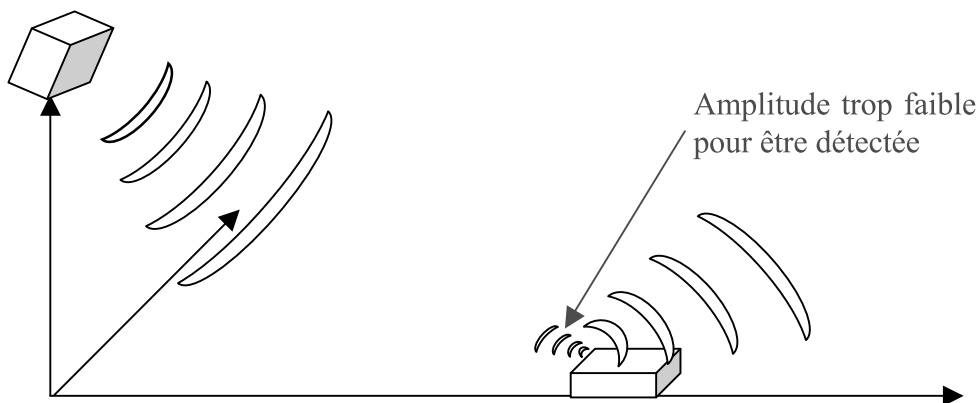


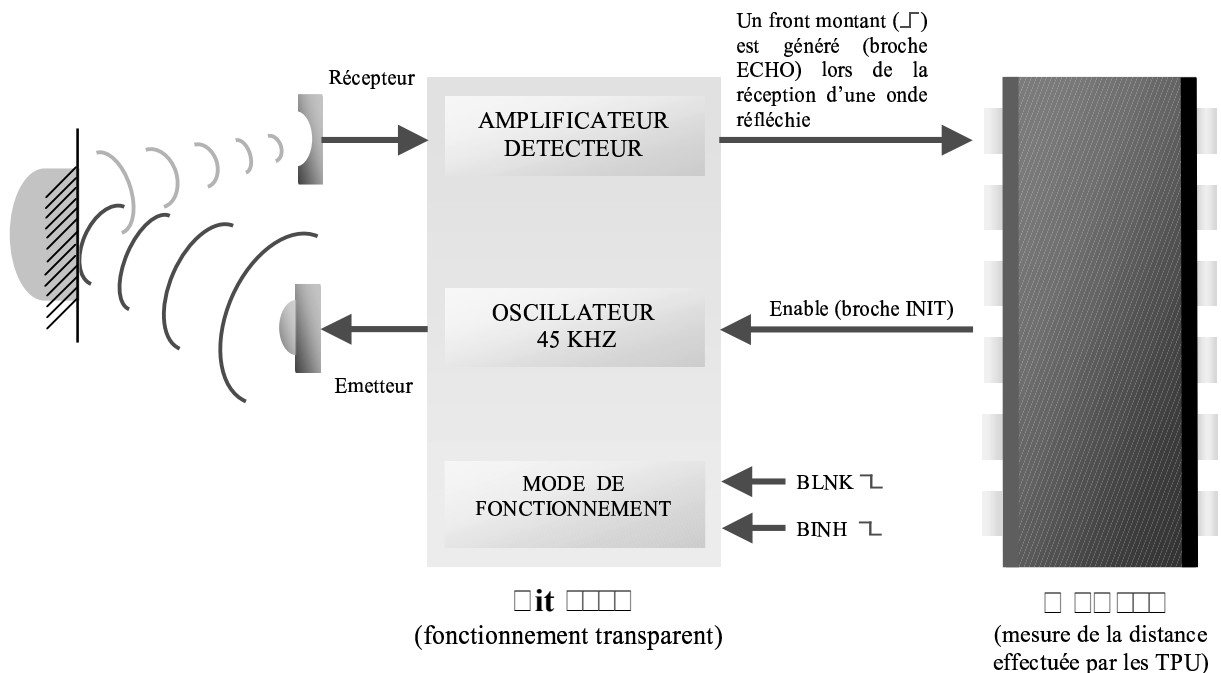
Figure II.2: objet trop petit pour être détecté

UNIVERSITÉ DE LYON

INSTITUT ÉNERGÉTIQUE

Sur le kit polaroid 6500, nous avons accès à un connecteur de type DIP standard, permettant d'une part, d'alimenter l'électronique et d'autre part, de commander le kit. Le détail du fonctionnement du kit est détaillé en annexe pages 33 et 34, dans notre application, son fonctionnement précis est transparent. Le fonctionnement, permettant une mesure de distance, est donné par le schéma fonctionnel page suivante.

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*<sup>5</sup> et *BLNK*<sup>6</sup> 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.

<sup>5</sup> BINH : Blank INHibit

<sup>6</sup> 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.

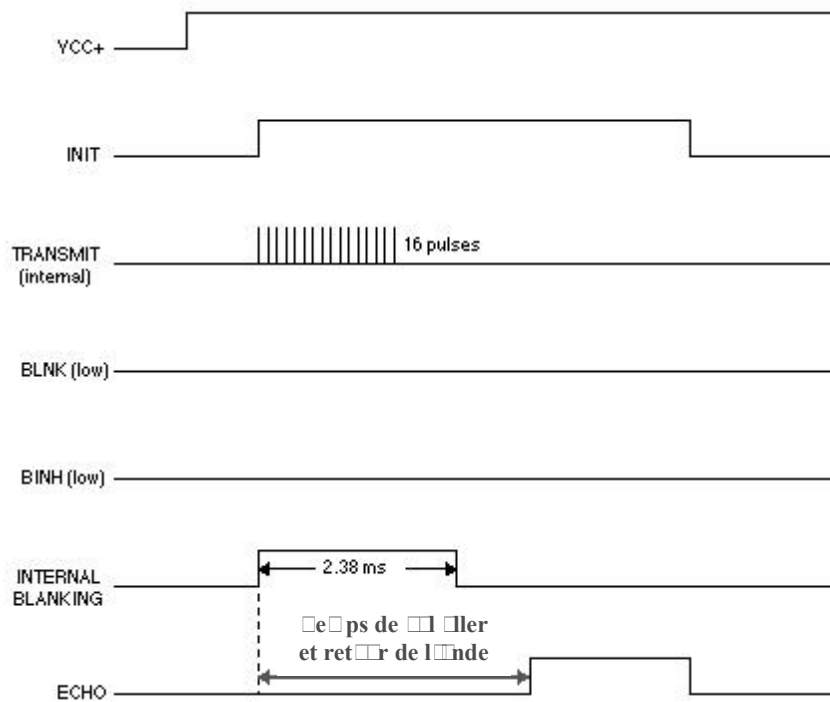


Figure II : chronogramme de l'onde émise en mode single-echo

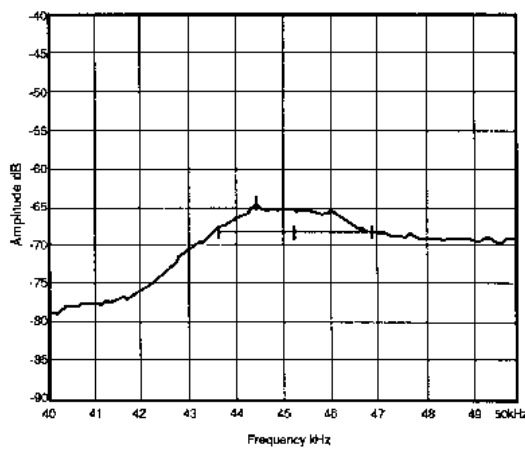
### 2.1.1. Introduction à l'UR

#### 2.1.1.1. Adaptation de la carte à cristallin piézoélectrique série

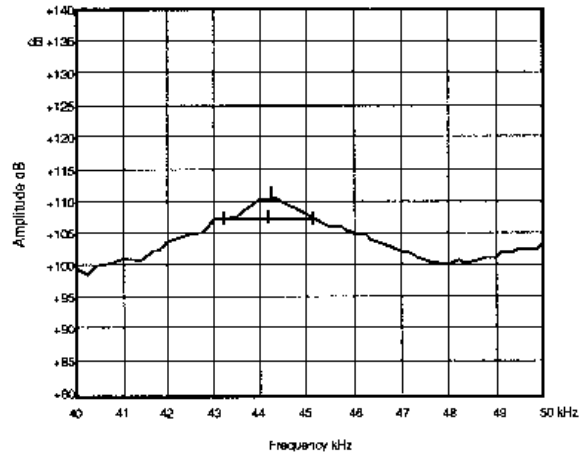
La carte créée par polaroid a été conçue initialement pour fonctionner avec un cristal piézoélectrique série 7000. Or, les sonars doivent être implantés sur un véhicule, il faut donc des capteurs étanches, très résistants au choc et ayant un cône de détection le plus large possible. Le cristal série 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

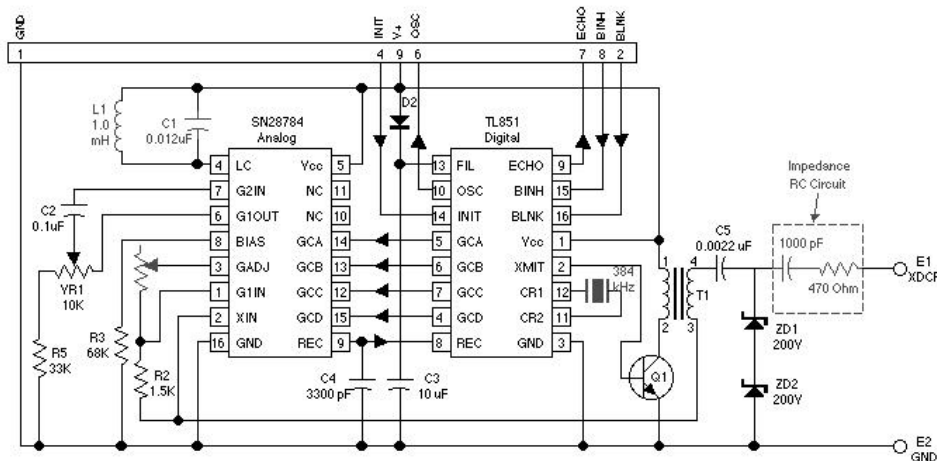
**Figure II.11 : Réponse typique de transmission et de réception**

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 $\Omega$  pour les capteurs situés sur le toit et de 25 K $\Omega$  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**

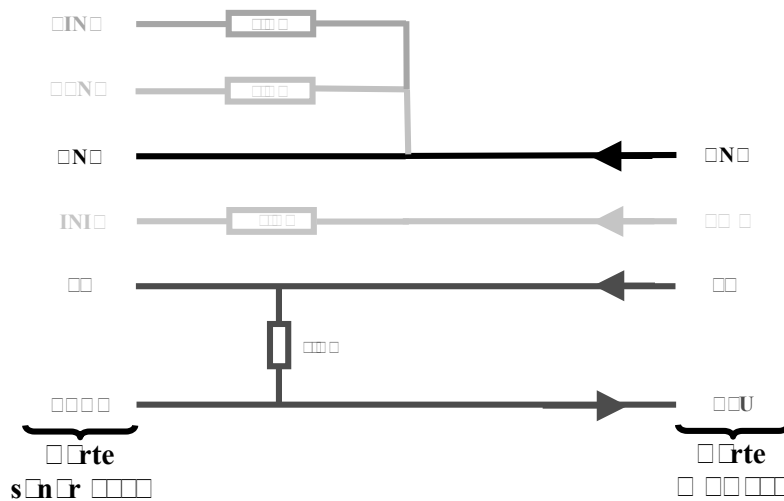
**Mode émission et réception dans le mode simple-écho**

Le mode single-écho 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 $\Omega$ .

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 $\Omega$ .

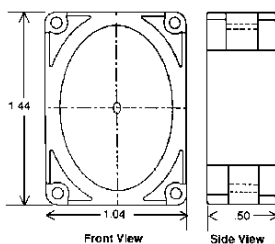
Enfin, la sortie ECHO du TLP851 est à collecteur ouvert, elle ne peut pas débiter plus de 100  $\mu$ A. Il faut donc rajouter en sortie une résistance de tirage. Comme nous le verrons plus loin, cette sortie commandera un optocoupleur dont la diode réclame très peu de courant. Une résistance de 10 K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

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



**Figure II.10 : schéma de connexion des entrées et sorties de la carte 6500. Les couleurs correspondent 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°.

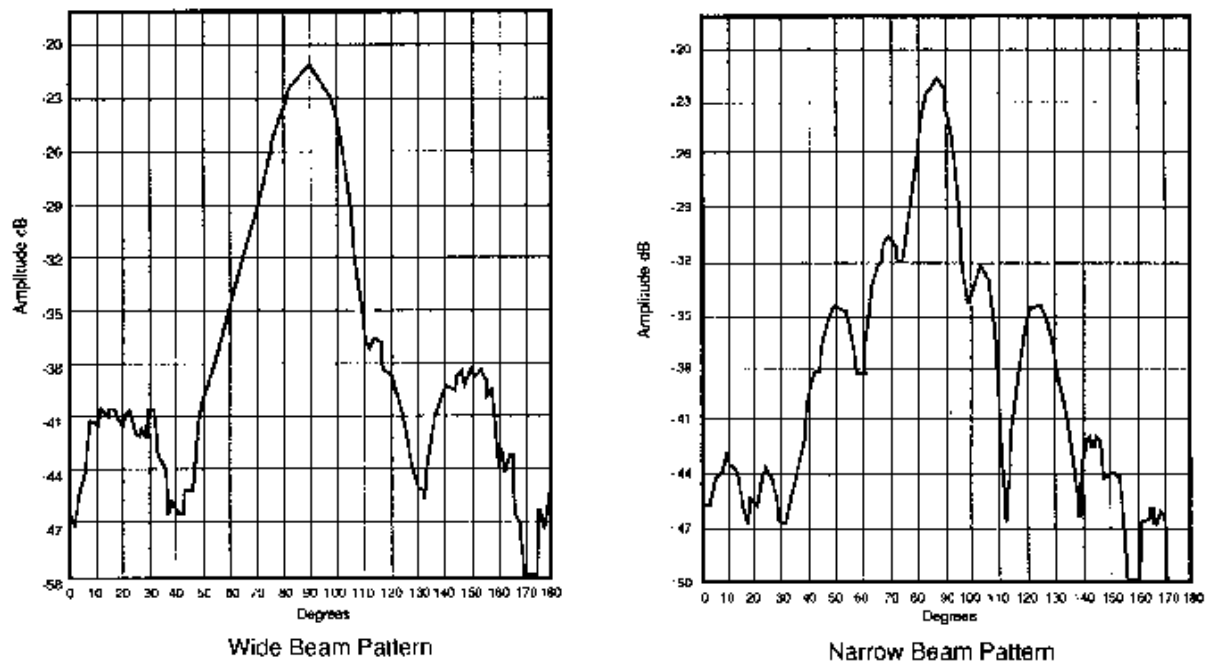


Figure II.10 : Split de des scintillations en fonction de l'angle d'incidence

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.

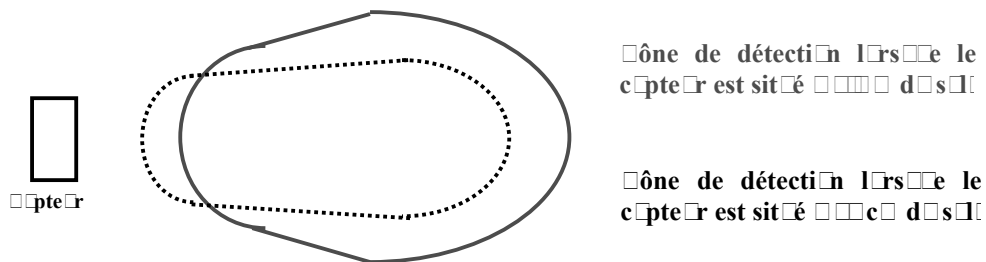


Figure II.11 : Influence de la hauteur du capteur sur le cône de détection



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.

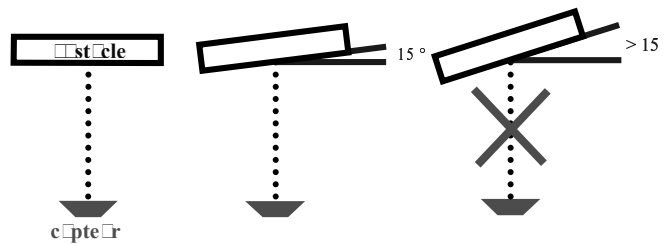


Figure II.10 : limite de détection d'un objet

II.2.2.2. LA COQUE

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.

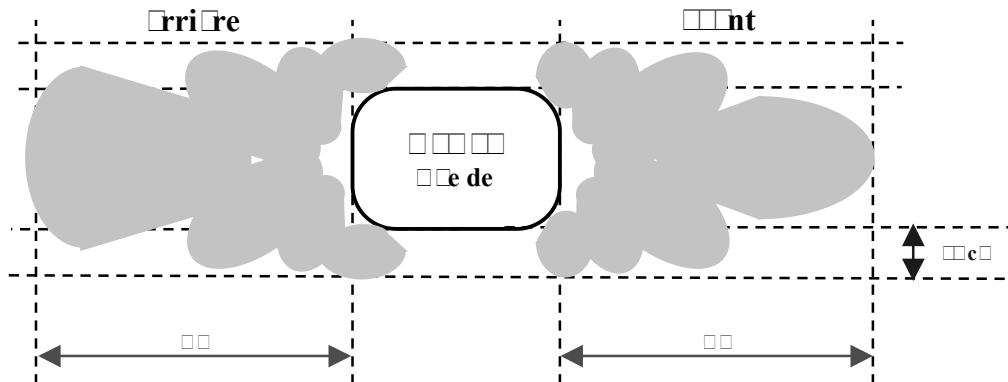


Figure II.11 : schéma de l'implantation de capteurs des capteurs

## 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.

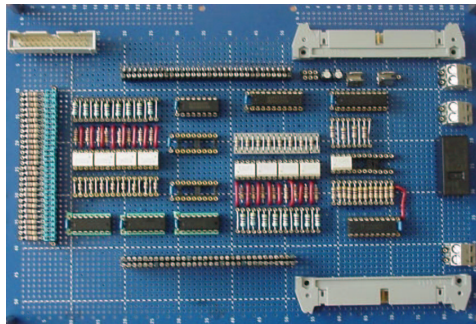


Figure III : photo de la carte d’inter

#### 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*<sup>7</sup> (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*<sup>8</sup>, 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.

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

<sup>8</sup> TPU : Time Processor Unit

III A N I N U

La fonction PWM du MPC555 va être très utile pour générer le signal INIT. La largeur de l’impulsion doit correspondre au temps de vol aller et retour maximum qu’est censée parcourir l’onde sonore. De plus, un niveau bas prolongé sur ce créneau permet d’éliminer le retour d’ondes provenant d’objets éloignés. Pour mesurer la distance d’un obstacle situé à 3 m du CyCab, il faut un niveau haut sur INIT de 22 ms (distance de l’objet par rapport au capteur de 3,7 m). De même, un niveau bas de 40 ms permet de masquer tout écho provenant d’objets externes au cône de détection. Ces deux temps nous donnent la fréquence de répétition du signal INIT, soit un créneau périodique de période 62,5 ms (période minimum que peut générer le MPC555 lorsque la fréquence interne de travail est de 20 MHz).

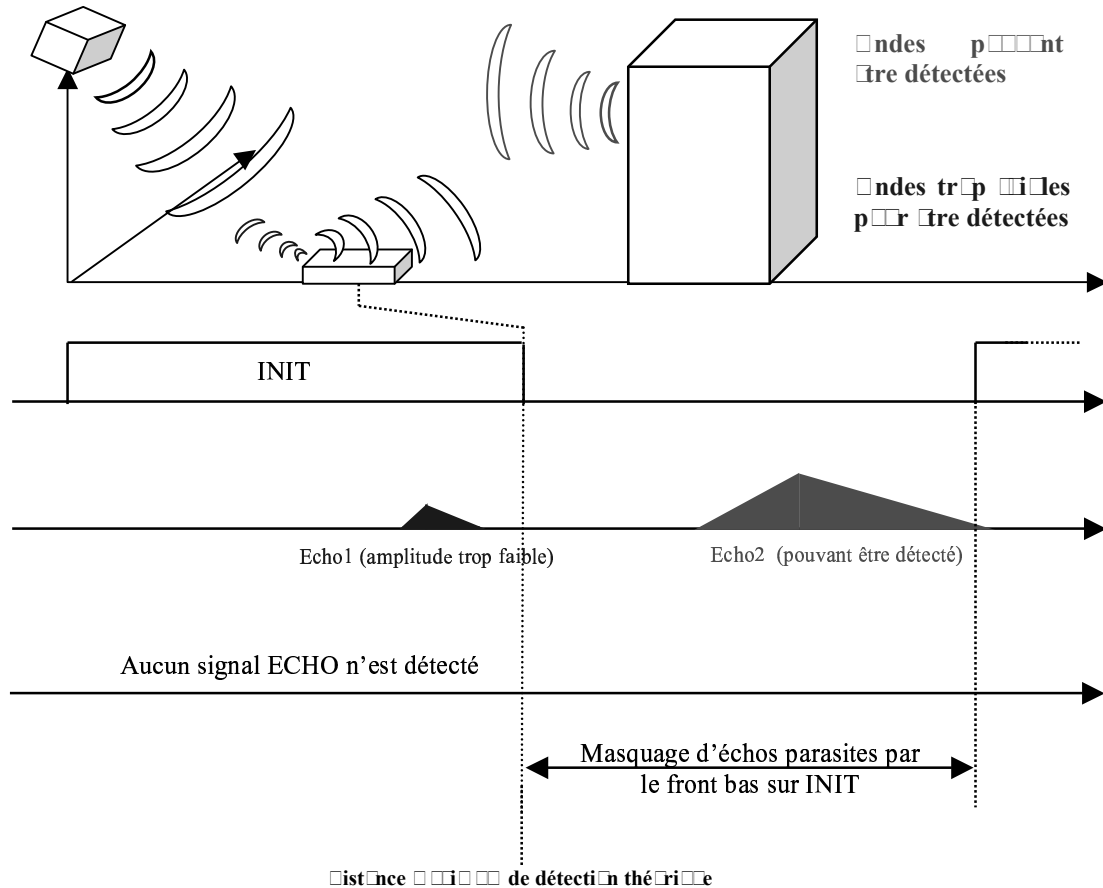


Figure III : schéma de conception du signal

III A N I N U

15 fonctions TPU préprogrammées en ROM servent de support à la programmation en assembleur Power-PC de fonctions plus complexes, adaptées à d’autres utilisations. L’utilisation des canaux TPU permettra de mesurer le temps écoulé entre le front montant sur le signal INIT et le front montant sur ECHO. Indiquant ainsi la distance séparant l’obstacle du CyCab.

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*<sup>9</sup>. 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.

<sup>9</sup> 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).

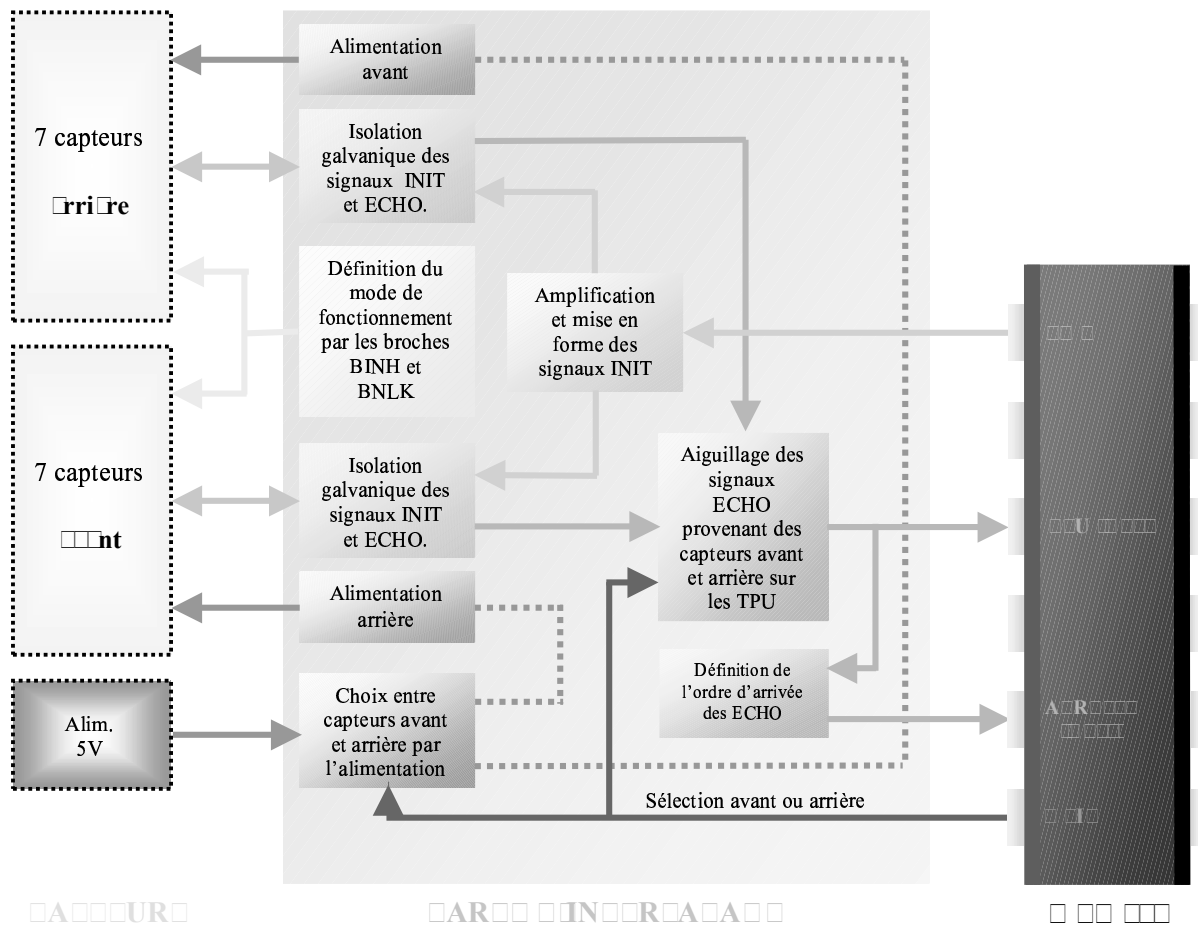


Figure III.1 : schéma fonctionnel de la carte d'interfaçage

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.

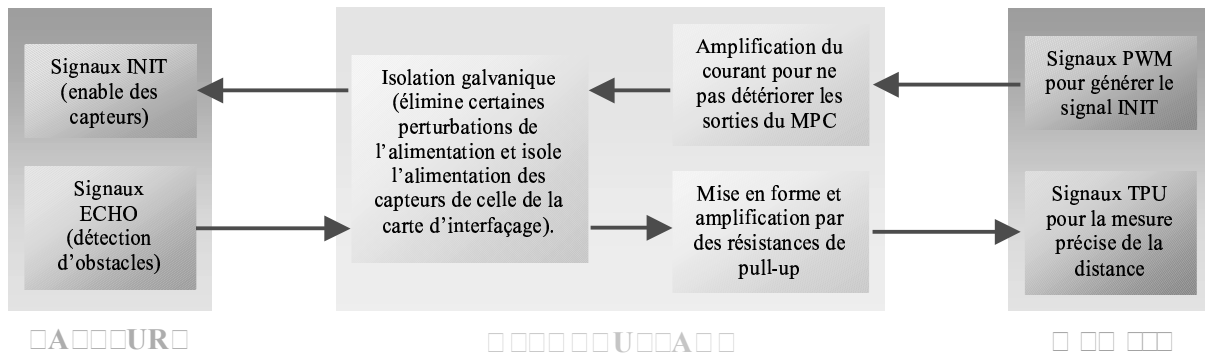


Figure III.2 : schéma fonctionnel de l'isolation et de la mise en forme des signaux

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.

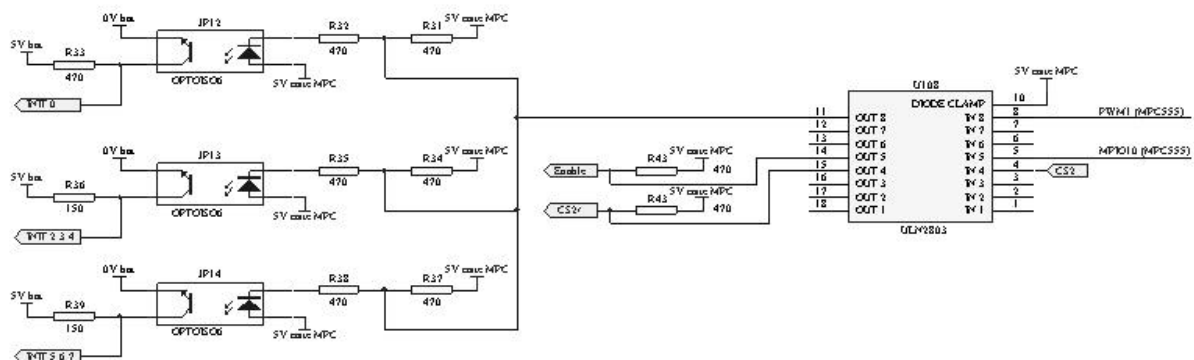


Figure III : schéma des sorties du microcontrôleur

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.

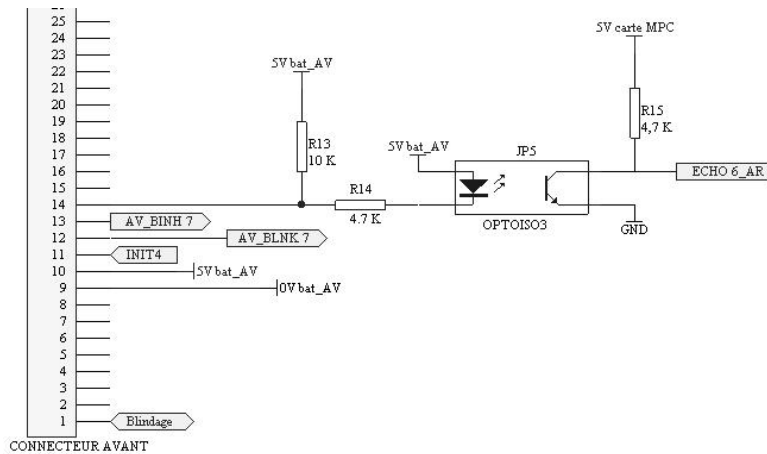


Figure III-1 : schéma des entrées du circuit de contrôle

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.

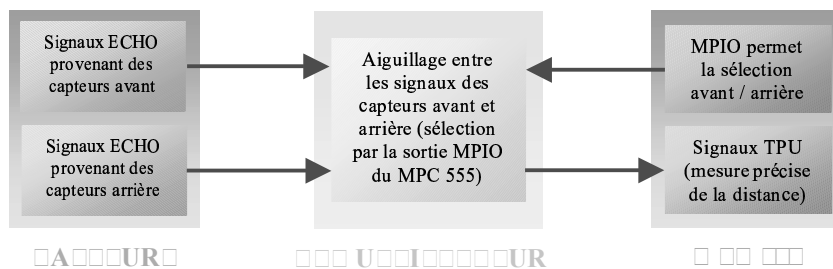


Figure III-2 : schéma fonctionnel du multiplexeur

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).

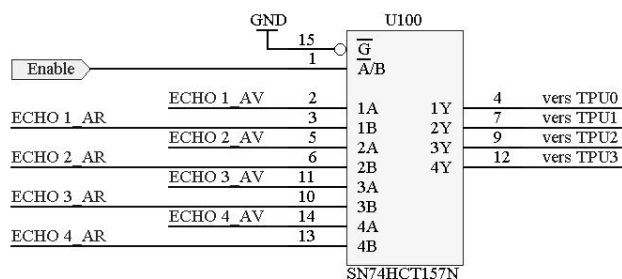


Figure III-3 : schéma du multiplexeur

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.

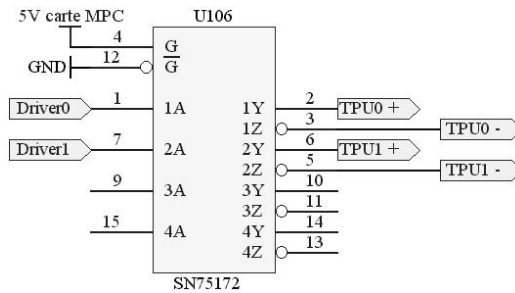


Figure III : schéma du driver de ligne

Le rôle principal est de lire 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.

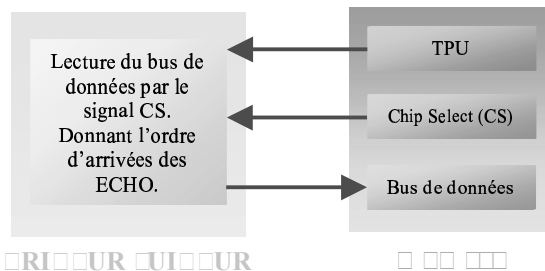


Figure III : schéma fonctionnel du latch

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.

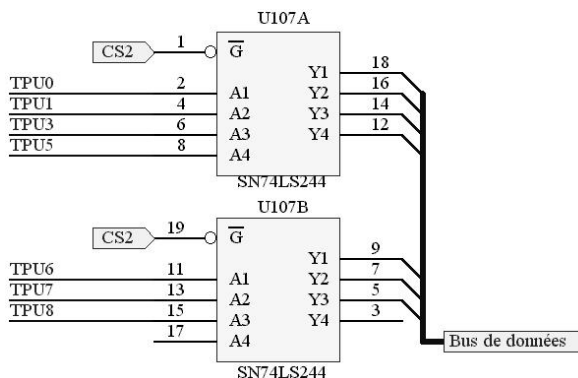


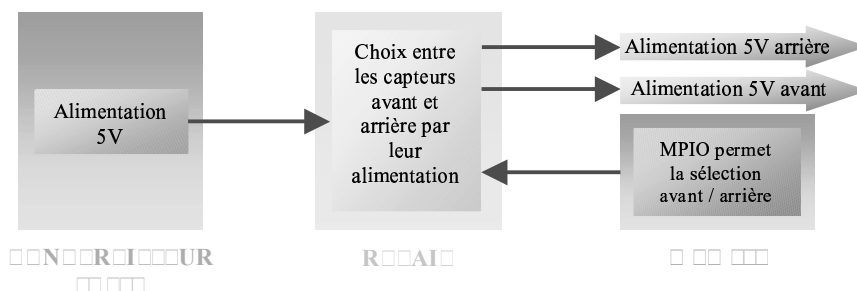
Figure III : schéma du driver sélecteur



**Choix électri 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.

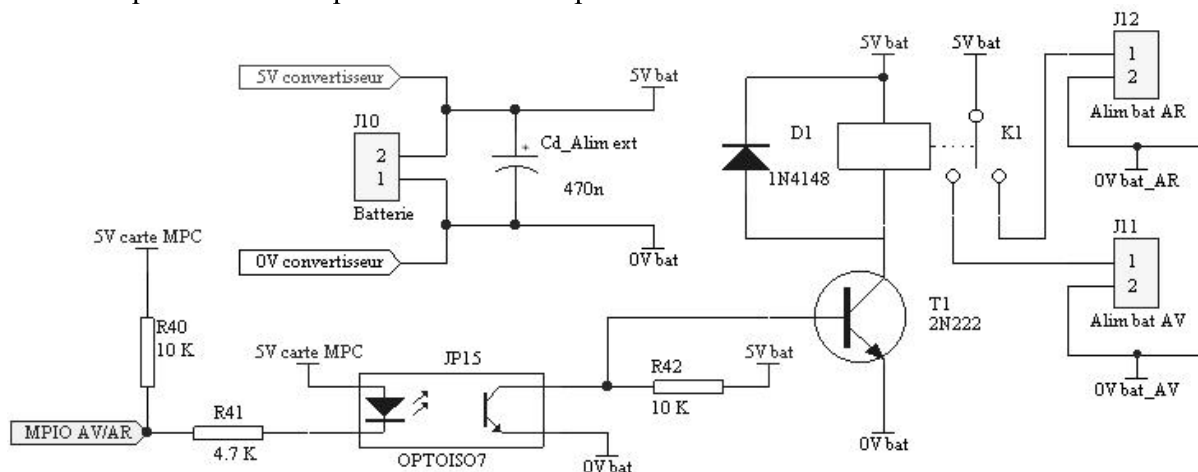


**Figure III.10 : schéma fonctionnel de commande de l’alimentation**

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**