



TOURRES Damien
IUT1 GEII 2^{ème} année
Option Automatismes et
Systèmes

RAPPORT DE STAGE

ETUDE DES CAPTEURS DE FORCE SUR
UN PROTOTYPE DE ROBOT BIPÈDE

Année 1999

SOMMAIRE

Introduction.....	3
1. PRESENTATION.....	4
1.1 L'inria au niveau national.....	5
1.2 Historique.....	7
1.3 L'inria Rhône Alpes.....	11
1.4 Projet BIP.....	13
1.5 Moyens robotique.....	14
1.6 Avancement du projet.....	15
1.7 Environnement de travail.....	16
2. LES CAPTEURS – CARACTERISATION.....	18
2.1 Nécessité de capter l'information.....	19
2.2 Les différents types de capteurs.....	20
2.2.1 Capteur US.....	21
2.2.2 Capteur IR.....	22
2.2.3 Inclinomètre.....	24
2.2.4 Capteur d'effort.....	25
2.2.5 Capteur potentiométrique.....	31
2.2.6 Microswitch.....	33
3. LES CAPTEURS D'EFFORT SUR LE PIED.....	34
3.1 Montage du pied.....	35
3.2 En statique.....	36
3.3 En dynamique.....	39
3.3.1 La marche.....	40
3.3.2 L'impact.....	43
3.4 La carte sécurité.....	44
CONCLUSION.....	47
BIBLIOGRAPHIE.....	48
ANNEXES.....	49

Introduction et présentation du stage

Etant en fin de cycle de DUT génie électrique et informatique industrielle à l'IUT1 Grenoble, j'ai été conduit à accomplir un stage de fin de deuxième année, pour concrétiser ma formation. J'ai effectué ce stage dans un institut de recherche spécialisé dans le domaine de la robotique sur un projet unique en Europe qui est la conception et la mise en œuvre d'un robot bipède antropomorphe.

Dans le dossier suivant est présenté l'unité de recherche, un résumé sur le projet bipède et l'étude centrée autour des capteurs plantaires.

Le service robotique de l'INRIA Rhône-Alpes a pour mission la mise en œuvre des moyens informatiques et matériels pour l'expérimentation du robot marcheur. Toute la mécanique du bas du robot (deux jambes) a été réalisée par le Laboratoire de Mécanique des Solides de Poitiers. L'équipe est chargée du câblage du robot et de la réalisation du système de contrôle-commande des moteurs ainsi que des capteurs.

Au sein du service robotique, mon rôle fut l'étude de capteurs, la conception, la réalisation et l'intégration d'une partie électronique sur une carte destinée au système de contrôle.

Le déroulement du stage s'est effectué en plusieurs étapes :

- Prise de contact avec différents types de capteurs ;
- Etude de capteur " sur banc d'essai " ;
- Etude du pied avec les capteurs ;
- Conception et réalisation de la partie électronique.

Les acquisitions ont été réalisées sur une carte de calcul temps réel avec le noyau VxWorks, ainsi que d'une station Sun sous Solaris pour la programmation de la carte de calcul et l'exploitation des mesures.



Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique

1. PRESENTATION

1.1 L'INRIA au niveau national

Créé en 1967 à Rocquencourt près de Paris, l'INRIA (Institut national de recherche en informatique et en automatique) est un établissement public à caractère scientifique et technologique (EPST) placé sous la double tutelle du ministère de l'éducation nationale, de la recherche et de la technologie et du ministère de l'économie, des finances et de l'industrie.

Les principales missions de l'INRIA sont (selon le décret du 2 août 1985 portant sur l'organisation et le fonctionnement de l'institut) :

- 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 ;
- Contribuer, notamment par la formation, à des programmes de coopération pour le développement ;
- Effectuer des expertises scientifiques ;
- Contribuer à la normalisation.

Avec le contrat d'objectifs signé avec l'état en janvier 1995, l'INRIA a confirmé son engagement à mettre l'excellence scientifique de ses chercheurs au service de son environnement national et international afin d'identifier les problèmes posés, de concevoir avec ses partenaires de meilleures solutions et de lancer rapidement ces dernières sur le marché.

Ainsi, l'INRIA est fermement engagé dans le transfert de technologie, soit par les partenariats noués avec des entreprises industrielles, soit par l'intermédiaire de ses sociétés de technologie.

Depuis 1967, l'INRIA a développé son implantation sur le territoire national. Il est désormais présent dans cinq régions :

- En Ile-de-France, une unité de recherche à Rocquencourt ainsi que le siège de l'institut également localisé à Rocquencourt ;
- En Bretagne, une unité de recherche à Rennes (créée en 1980) ;
- En Provence Alpes Côte d'Azur, une unité de recherche à Sophia Antipolis (créée en 1982) ;
- En Lorraine, une unité de recherche à Nancy (créée en 1984) ;
- En Rhône-Alpes, une unité de recherche près de Grenoble (créée en 1992).

L'INRIA, c'est :

2 100 personnes, dont 1 700 scientifiques
715 postes permanents
550 doctorants
200 chercheurs d'autres organismes
40 post-doc
70 ingénieurs-experts
100 stagiaires
650 visiteurs étrangers
200 collaborateurs extérieurs universitaires ou industriels
5 unités de recherche réparties sur toute la France
Un budget de 495 MF (hors taxes) en 1997
300 contrats actifs
20 sociétés de technologie.

1.2 Historique

1967-1972 : les premiers pas de l'IRIA

À l'initiative de la Direction générale de la recherche scientifique et technique (DGRST), un groupe de dix personnalités indépendantes, choisies pour leur compétence scientifique ou économique, se réunissait, à la fin de l'année 1964 et courant 1965, sous la présidence du professeur Lelong pour conduire une réflexion sur l'importance des nouvelles techniques du traitement de l'information. Le mot informatique n'avait pas encore cours ; il devait être proposé à quelque temps de là, mais le rapport que le groupe adressait en février 1966 au Comité consultatif de la recherche scientifique et technique (CCRST) mettait en lumière tous les concepts de base de cette nouvelle science et attirait l'attention sur l'influence décisive qu'elle allait jouer dans tous les domaines d'activités humaines.

Présentées par le CCRST, les propositions contenues dans le rapport des dix experts étaient adoptées dans leur principe, par un comité interministériel sur la recherche scientifique, présidé par G. Pompidou, alors Premier ministre, en 1966. Un peu plus tard, les instances politiques intéressées mettaient en œuvre l'ensemble des mesures connues sous le terme de « Plan Calcul ».

L'Institut de recherche d'informatique et d'automatique, IRIA, créé par le décret 67-722 du **25 août 1967**, constituait l'un des organes principaux d'exécution de ce Plan Calcul. L'étendue de ses missions faisait participer l'IRIA à tous les aspects de l'opération. L'institut jouait, en effet, le rôle majeur, aussi bien pour la recherche que pour la formation des hommes et pour la diffusion de la connaissance scientifique et technique.

La période 1967-1972 a constitué une première phase dans la vie de l'IRIA, celle de la création ex-nihilo, l'époque des pionniers, sous la direction du professeur **Michel Laudet**, avec l'appui du professeur **André Lichnerowicz**, président du Conseil scientifique. Au cours de cette période, le domaine de Voluceau, laissé vacant par l'OTAN après avoir servi de cantonnement pour le personnel militaire américain, a été transformé en un instrument de recherche et de formation.

1972-1980 : de l'IRIA à l'INRIA

Le 25 février 1972, un conseil interministériel, sur proposition du Comité consultatif de la recherche scientifique et technique (CCRST), confirmait l'IRIA dans ses vocations et arrêta une série de décisions propres à en amplifier les actions, notamment dans le domaine de la synthèse et orientation de la recherche française en informatique et dans le domaine de l'assistance technique donnée à la pénétration de l'informatique dans toutes les activités d'intérêt national :

- Regroupement de la recherche au sein d'un « **Laboratoire de recherche d'informatique et d'automatique** », le **Laboria** ;
- Développement des interventions ayant la nature d'une assistance technique à des applications exemplaires de l'informatique dans les différents secteurs d'activités d'intérêt national ;
- Rattachement direct à l'institut, qui en devient ordonnateur, des crédits d'irrigation de la recherche.

Les statuts de l'IRIA ont été partiellement modifiés suivant ces dispositions par le décret 73-338 du 13 mars 1973. La réforme de structure s'appuyait sur une pièce maîtresse, la création d'un Comité consultatif de la recherche en informatique, le CCRI, chargé d'élaborer les propositions d'une politique nationale de la recherche dans les domaines de l'informatique et de l'automatique. Le décret portant création du CCRI est le 73-130 du 12 février 1973.

Le 8 juin 1972, Michel Laudet, premier directeur de l'institut, passait ses pouvoirs à son successeur André Danzin.

À l'issue du Conseil d'administration du 28 juin 1972 :

- Michel Monpetit est appelé à la responsabilité de directeur adjoint de l'institut ;
- Le professeur Jacques-Louis Lions est nommé directeur du Laboria.

Parmi les missions auxiliaires de l'IRIA, intimement liées aux missions principales, on trouvait l'animation et la conduite de projets pilotes ; le premier étant la réalisation d'un réseau permettant l'interconnexion de plusieurs grands centres de calcul (Projet Cyclades).

Dans son action, l'IRIA se souciait non seulement d'accroître le potentiel en chercheurs, mais aussi d'orienter l'implantation des équipes, selon les préoccupations de la Délégation à l'aménagement du territoire (DATAR). Il mettait ainsi à la disposition d'équipes de province, des postes budgétaires de chercheurs, notamment à Rennes. Ces équipes portaient le nom d'équipes associées de l'IRIA.

En 1975, à partir des équipes de Rennes, était créé **l'Irisa**, laboratoire de recherche associé à l'université de Rennes 1 et au CNRS.

Fin 1979, l'institut se recentre sur sa mission de recherche et de transfert et devient par décret du 27 décembre 1979, **l'INRIA (Institut national de recherche en informatique et en automatique)**, établissement public à caractère administratif sous la tutelle du ministre de l'industrie. Jacques-Louis Lions en devient le président directeur général.

Parallèlement est créée, par décret du 27 septembre 1979, **l'Agence pour le développement de l'informatique** qui est chargée, pour ce qui concerne les applications de l'informatique, de mener des expérimentations, des actions de sensibilisation, de formation et de prospection de nouveaux secteurs d'activité concernés. Elle est également chargée d'une mission d'animation et de développement de la recherche publique et privée sur les applications de l'informatique, sur les techniques susceptibles de favoriser leur développement. Cette agence sera supprimée en 1986.

Après 1980 : l'essor de l'INRIA

Depuis les années 80, l'INRIA n'a cessé de se développer.

En 1980, l'unité de recherche de Rennes voit le jour en tant qu'une des composantes de l'Irisa.

En 1982, est créée l'unité de recherche de Sophia Antipolis.

En 1983, Alain Bensoussan devient président directeur général de l'INRIA.

En 1984, est créée l'unité de recherche de Lorraine, conjointement avec l'université de Nancy et le Centre de recherche en informatique de Nancy (Crin) du CNRS.

En 1984, Simulog voit le jour. Il s'agit de la première filiale industrielle de l'INRIA, dans le domaine de l'ingénierie assistée par ordinateur. C'est la première d'une série qui conduira à la création de 19 autres sociétés de technologie issues de l'INRIA.

En 1985, l'INRIA devient établissement public à caractère scientifique et technologique (EPST) placé sous la double tutelle du ministère chargé de la recherche et du ministère chargé de l'industrie.

Le décret 85-831 du 2 août 1985, portant sur l'organisation et le fonctionnement de l'institut, rappelle ses principales missions :

- 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 des recherches ;
- Contribuer, notamment par la formation, à des programmes de coopération pour le développement ;
- Effectuer des expertises scientifiques ;
- Contribuer à la normalisation.

En 1987, l'INRIA célèbre son 20e anniversaire : Alain Bensoussan déclare que la plus grande spécificité de l'institut consiste à obtenir que les résultats de la recherche soient transférés aussi vite que possible dans le secteur économique.

En 1987, la deuxième filiale de l'INRIA, **Ilog**, chargée de l'industrialisation de produits INRIA en intelligence logicielle, voit le jour.

En 1989, l'INRIA est un des fondateurs du consortium européen **Ercim** qui regroupe actuellement quatorze organismes de recherche.

En 1990, la troisième filiale industrielle de l'INRIA, **O2 Technology**, est créée dans le domaine des systèmes de gestion de bases de données orientées objet.

En 1992, *l'unité de recherche de Rhône-Alpes* voit le jour.

En mars 1994, l'INRIA adopte un plan stratégique visant à définir les principaux axes de la politique générale menée par l'institut.

Le 31 janvier 1995, l'INRIA est le premier organisme de recherche à signer avec le ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche un contrat d'objectifs. Ce contrat associe également le ministère de l'industrie, des postes et des télécommunications, autre tutelle de l'institut.

En 1995, l'INRIA est choisi comme pilote européen du consortium **W3C**, créé en 1994, aux côtés du MIT pour les États-Unis.

En 1996, Bernard Larroutou devient président directeur général de l'INRIA. En décembre, il fait adopter par le Conseil d'administration les principales orientations de la politique de l'institut pour les prochaines années.

En décembre 1997, un essai prospectif rédigé par Bernard Larroutou en juillet 1997 et intitulé « Inria 2007, L'Inria dans dix ans » est diffusé aux partenaires de l'institut.



1.3 L'INRIA Rhône-Alpes

ZIRST – 655 Avenue de l'Europe
38330 Montbonnot St Martin
tel : 047 661 5200
fax : 047 661 5252
@ : www.inrialpes.fr

L'unité de recherche INRIA Rhône-Alpes, qui est la cinquième unité de l'INRIA, a été créée en décembre 1992.

Cette unité mène ses activités en étroite collaboration avec les laboratoires de recherche publics et privés, nationaux et internationaux, installés dans la région et elle entretient des liens privilégiés avec l'Institut d'informatique et mathématiques appliquées de Grenoble (Imag).

L'INRIA Rhône-Alpes participe aux enseignements des formations doctorales de l'Institut national polytechnique de Grenoble et de l'université Joseph Fourier ainsi qu'à l'accueil et à l'encadrement des doctorants.

L'innovation issue de la recherche donne lieu à un transfert de technologie par l'intermédiaire, en particulier, des sociétés de technologie de l'INRIA.

Les projets et avant-projets de l'unité

Thème 1 : Réseaux et systèmes

- APACHE - Algorithmique parallèle et partage de charge ;
- ReMaP - Régularité et parallélisme massif ;
- SIRAC - Systèmes informatiques répartis pour applications coopératives.

Thème 2 : Génie logiciel et calcul symbolique

- ARENAIRE - Arithmétique des ordinateurs

Thème 3 : Interaction homme-machine, images, données, connaissances

- iMAGIS - Modèles, algorithmes, géométrie pour le graphique et l'image de synthèse ;
- MOVI - Modélisation, localisation, reconnaissance et interprétation en vision par ordinateur ;
- OPÉRA - Outils pour les documents électroniques : recherche et applications ;
- SHARP - Programmation automatique et systèmes décisionnels en robotique ;
- SHERPA - Bases de connaissances à objets.

Thème 4 : Simulation et optimisation de systèmes complexes

- BIP - Robot bipède ;
- IDOPT - Identification et optimisation de systèmes en physique et en environnement ;
- IS2 - Inférence statistique pour l'industrie et la santé ;
- NUMOPT - Optimisation numérique.



1.4 Projet BIP

Ce projet, créé au 1er janvier 1994, a pour objectif la conception de robots marcheurs de type bipède, et plus spécifiquement la mise au point de leur commande. L'intérêt de tels robots réside dans leur capacité naturelle à évoluer dans les environnements de notre vie quotidienne, essentiellement conçus pour la bipédie. Ainsi, la classe d'application visée en priorité est la robotique de service, même si des retombées dans d'autres secteurs, comme la biomécanique, sont espérées.

Axes de recherche

- Modélisation de la marche humaine dans diverses configurations : mesures de paramètres sur des ensembles de sujets, recherche d'invariants posturaux ou de mouvement, détermination des critères d'optimisation sous-jacents ;
- Etude de schémas de commande basés sur la stabilisation active de régimes passifs quasi-périodiques en conjonction avec des techniques de tâches redondantes et de commande référencée capteurs (force, proximité ou vision) ;
- Mise au point d'outils de conception/programmation/vérification pour l'ensemble du contrôle/commande à partir d'une approche synchrone ;
- Conception de sous-ensembles mécaniques particuliers ;
- Animation et synthèse de la marche.

Relations internationales et industrielles

- Collaboration sous forme de projets ou contrats communs avec des biomécaniciens (UFR Staps de Grenoble, Groupe d'Analyse du Mouvement de Dijon), des automaticiens (Laboratoire d'Automatique de Grenoble) et des mécaniciens (Laboratoire de Mécanique des Solides de Poitiers) ;
- Contrats en cours dans le cadre du projet Via (GRD-PRC « Communication Homme-Machine ») et du programme Praxitèle ; contrats en préparation : Salomon et Région ;
- Participation aux comités de programme Icar, Icara, Iser, Syroco ; activités d'éditeur associé pour la revue IEEE Control Systems Technology.

1.5 Moyens Robotique

Le rôle des moyens robotique est la mise en œuvre et la maintenance de plates-formes robotique pour réaliser les expérimentations des projets robotique et vision. Ce service de l'INRIA représente une valeur sûre dans les avancées technologiques françaises. En effet les outils dont disposent les ingénieurs qui travaillent dans la halle robotique permettent un développement certain dans le domaine de la robotique.

Les missions qui lui sont attribuées sont de trois types :

- Les activités de service qui consistent à la maintenance des systèmes robotique, à l'installation et la maintenance de logiciels spécialisés, à l'interfaçage entre les utilisateurs et le service informatique et à l'assistance aux utilisateurs ;
- Les activités de développement consistants à la mise en place d'expérimentations et au développement de logiciels dédiés à la robotique.
- Les activités de recherche ont pour but la conception de systèmes robotiques et la confrontation théorie et expérimentation ;

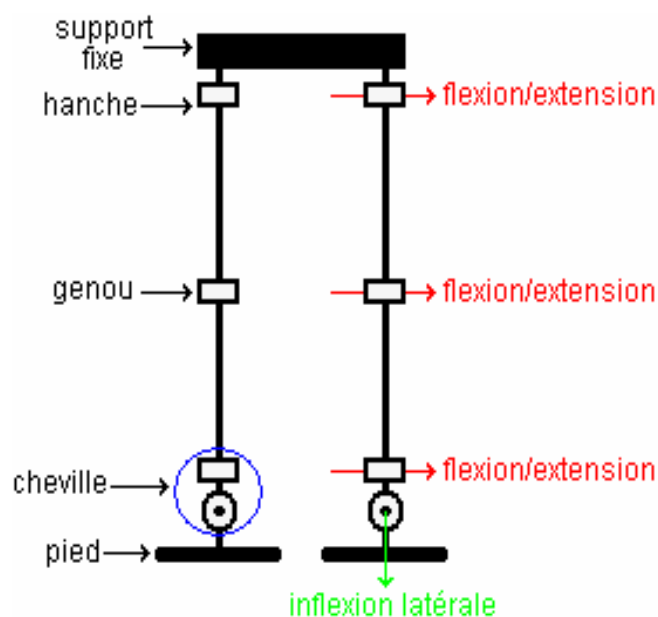
Le but du Service Robotique est de fédérer l'effort expérimental en favorisant les expérimentations inter-projets, la mise en commun des moyens expérimentaux et les outils réutilisables (environnement de développement, machine de vision...).

1.6 Avancement du projet

L'objectif initial du projet est la réalisation d'un robot bipède à 15 degrés de liberté, aux dimensions et aux masses des membres inférieurs voisines de celles de l'homme. Aujourd'hui, toute la structure mécanique du robot a été réalisée. La commande des deux jambes est en cours de réalisation. Ces deux jambes possèdent chacune quatre degrés de liberté : deux degrés pour la cheville, un degré pour le genou et un degré pour la hanche. Chaque jambe est munie de quatre moteurs à courant continu sans balais : deux moteurs pour la cheville, un moteur pour le genou et un moteur pour la hanche.

Actuellement, les deux jambes sont montées sur un support fixe (voir schéma explicatif) pour permettre les premiers mouvements. Une fois que cette première partie fonctionnera correctement, viendront se greffer ensuite le pelvis et le tronc pour la finalisation de l'ensemble mécanique. Une fois la mécanique complètement montée, il restera à optimiser en poids et en encombrement toute la partie électronique afin de pouvoir l'embarquer sur le robot. La dernière étape consisterait à pouvoir rendre complètement autonome le robot en lui intégrant une source d'énergie, ainsi, il n'y aura plus de câbles entre le robot et l'extérieur. La communication réseau sera réalisée avec une liaison sans fil.

Schéma explicatif de la partie en cours de test

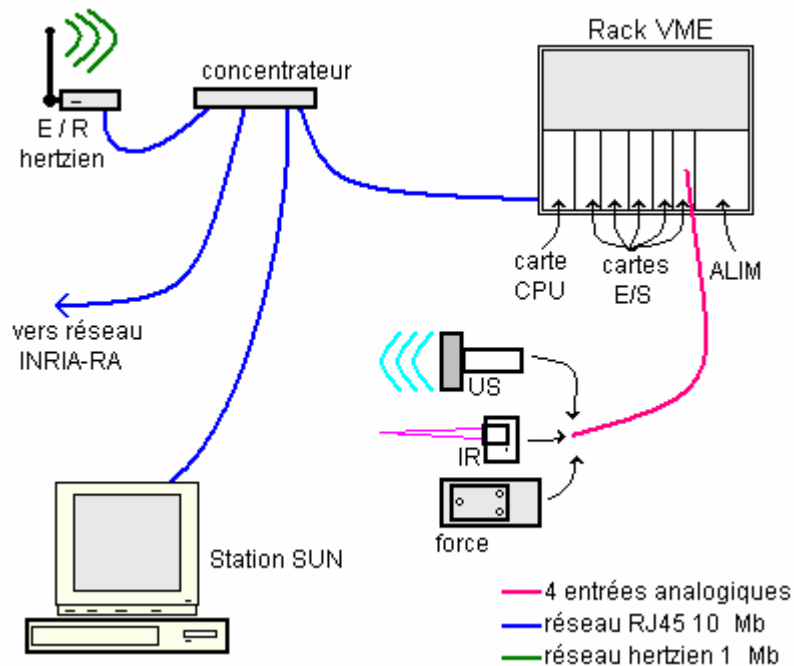


1.7 Environnement de travail

Les moyens robotiques ont en leurs possession des PC's sous Windows NT et sous Linux, des station SUN sous Solaris, des Silicon Graphics ainsi que des systèmes de calcul dans un rack avec bus VME. Ces systèmes sont basés sur un microprocesseur 68040 avec noyau temps réel. Tout cet ensemble est interconnecté via un réseau Ethernet câblé RJ45 et hertzien. Le rack permet de faire des acquisitions analogiques échantillonnées à 1000 Hz, chaque point est stocké en RAM sur la carte CPU, puis les données sont transmises par le réseau sur une station SUN sur laquelle nous pouvons les exploiter. La carte CPU est notamment accompagnée de cartes d'entrées/sortie analogique. Ces cartes communiquent entre elles via le bus VME et sont pilotées par la carte CPU. Les programmes nécessaires pour le fonctionnement de cet ensemble ont été écrit en langage C.

Les fichiers issus des mesures ont été ensuite exploités grâce à Xprism et à Matlab sous Solaris, les PC étant très peu utilisés.

Le croquis ci-dessous illustre l'organisation du rack et d'une partie du réseau.



Cartes d'extensions du rack VME

Il existe 4 types de cartes qui sont connectées sur le bus :

- **Module IP – Quadrature** : Ce module gère le décodage des signaux renvoyés par les résolveurs moteurs du bipède. Cette carte implante 4 décodeurs de 12 entrées ;
- **Module IP – Unidig I-O** : Ce module gère 24 entrées ou sorties tout – ou – rien ;
- **Module IP – 16 ADC** : Cette carte possède 16 convertisseurs Analogique – Numérique simple voie ou 8 en différentiel ;
Le fait d'utiliser la carte en différentiel permet de limiter le bruit sur les voies.
- **Module IP – DAC SU** : A l'opposé du module IP – 16 ADC, cette carte contient 16 voies de conversion Numérique – Analogique qui fonctionnent jusqu'à 10 kHz.

Dans le cas de nos mesures, il sera nécessaire d'utiliser le module qui gère les acquisitions et les conversions. Il s'agit du module IP – 16 ADC. Il faudra donc configurer cette carte à l'aide de pilotes qui seront écrits avec le langage C.

2. LES CAPTEURS / CARACTERISATION

2.1 Nécessité de capter l'information

En faisant une analogie du comportement de l'homme avec le bipède, on peut associer :

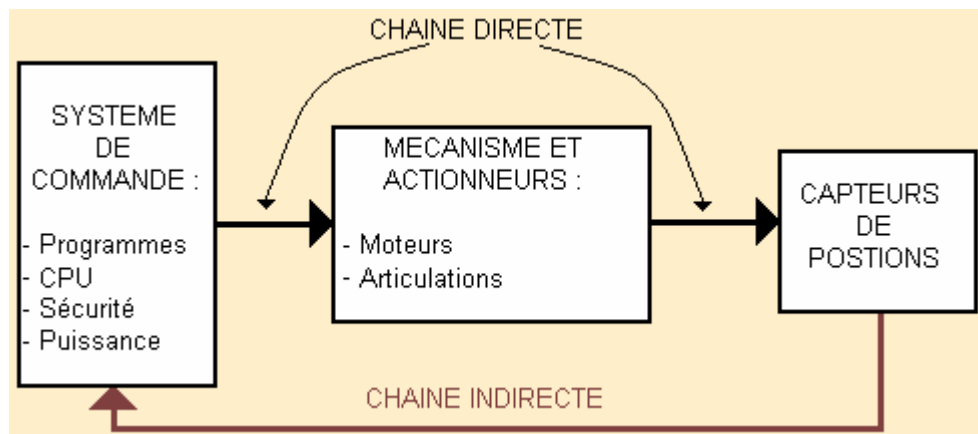
- **Le système de commande au cerveau ;**
- **Les actionneurs (moteurs) aux muscles ;**
- **La jambe et les articulations du robot à la jambe et aux articulations de l'homme ;**
- **Les capteurs aux sens de l'homme.**

L'homme n'utilise évidemment pas ses cinq sens pour marcher, le goût et l'odorat ne sont d'aucune utilité pour la marche. L'ouïe permet de nous informer de tout ce qui se passe autour de nous, la vue nous permet de nous diriger et d'éviter les obstacles, et enfin, le toucher nous permet de nous rendre compte de la position de nos pieds sur le sol. Les sens évoqués précédemment sont des sens dit extéroceptifs, c'est à dire qu'ils nous informent sur l'environnement extérieur. Mais même en fermant les yeux, on a une idée de la position de nos membres, et il nous est possible de marcher grâce à cette perception, on appelle ceci des informations proprioceptives. De plus l'homme possède un système vestibulaire qui lui permet de connaître la verticale, et donc de se maintenir en équilibre.

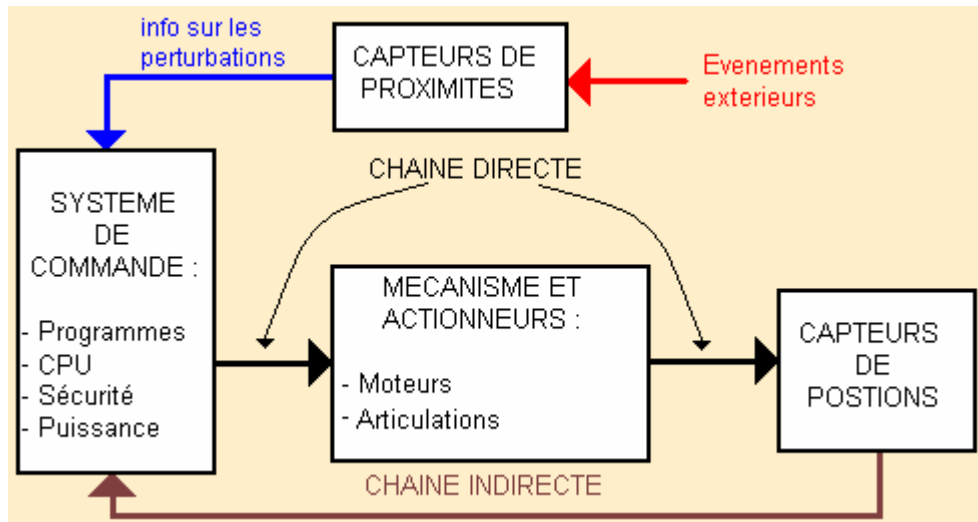
Il nous serait donc impossible de pouvoir marcher sans ces sens. Il en est de même pour le robot : chaque fois que le "cerveau" commande une action, il faut qu'il sache préalablement si cette action peut être effectuée sans danger pour le robot ou pour l'environnement extérieur. Nous retrouvons donc sur le robot des capteurs extéroceptifs ainsi que des capteurs proprioceptifs.

On retrouve ci-dessous la structure de deux asservissements, le premier est un asservissement dans lequel il n'y aurait aucune perturbation (cas où une marche s'effectuerait dans un endroit où le sol serait plat et dépourvu d'obstacle). Le second asservissement est soumis à des perturbations, les perturbations étant en fait les obstacles rencontrés (cas d'une marche dans un environnement quelconque).

Asservissement sans perturbation :



Asservissement avec perturbations :



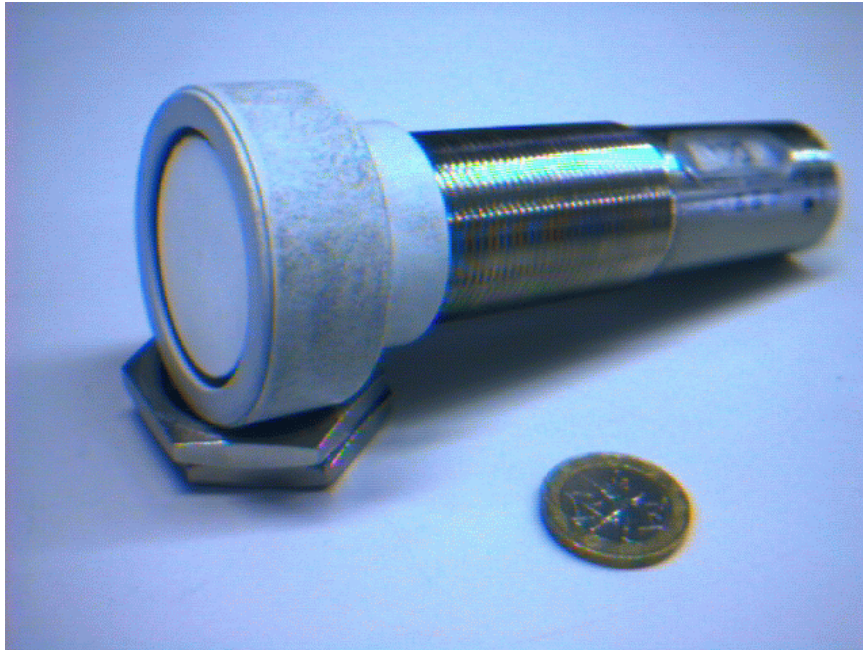
On constate que l'asservissement sans perturbation serait inadapté pour le robot, car il serait impossible de connaître l'environnement dans lequel le robot évolue (Imaginez que vous marchez les yeux bandés et les mains dans vos poches dans un lieu que vous ne connaissez pas !). Le second asservissement quant à lui est capable de reconnaître un obstacle et de faire le nécessaire pour ne pas rentrer dedans !

Pour réaliser toutes ces fonctions, on utilise différents types de capteurs qui sont classés dans deux parties différentes : les capteurs extéroceptifs (Sur le robot est utilisé actuellement que des capteurs de proximité) et les capteurs proprioceptifs. Le tableau ci-dessous classe les capteurs utilisés sur le robot selon leurs types, et explique succinctement leurs rôles.

2.2 Les différents types de capteurs

Technologie	Positionnement	Utilité	Famille
Ultra Son / analog	Genoux	Analyse du sol (LP)	Extero
InfraRouge / analog	Genoux	Analyse du sol (PP)	Extero
Inclinomètre / analog	Pieds	Position du pied	Extero / Proprio
Force (pont) / analog	Pieds	Position du pied	Proprio
Potentiomètre / analog	Articulations	Position des membres	Proprio
MicroSwitch / TOR	Articulations	Sécurité	Proprio

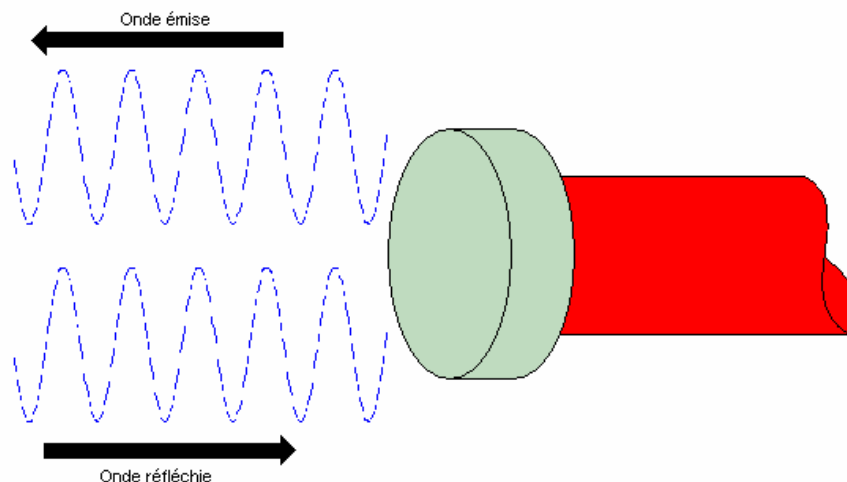
2.2.1 Capteur US



Ce capteur, fixé sur le genou et incliné d'une certaine façon, permet de donner une information fidèle sur le sol. Il est capable de mesurer des distances comprises entre 30 cm et 4 m. La technologie de ce capteur ne permet pas de mesurer des distances inférieures à 30 cm ou supérieures à 4 m, car il ne possède qu'une cellule US pour l'émission et la réception des ondes. Lorsque l'on sort de sa plage de mesure :

- Pour de faibles distances, l'onde est renvoyée alors que la cellule est en émission.
- Pour de grandes distances, l'onde ne revient pas.

Le schéma ci-dessous montre un cas où les deux ondes d'émission et réception sont présentes en même temps.



Différents tests ont été réalisés : tout d'abord le cône de détection a dû être tracé, ensuite, pour une distance fixe, on a fait varier la nature de l'obstacle afin de déterminer l'erreur possible sur la mesure de distance, et enfin, on a réalisé un pas.

Pour l'étude détaillée sur ce capteur, veuillez consulter le rapport de stage [1].

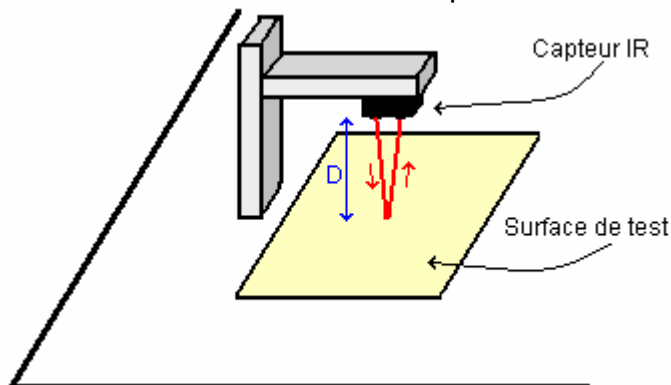
2.2.2 Capteurs IR



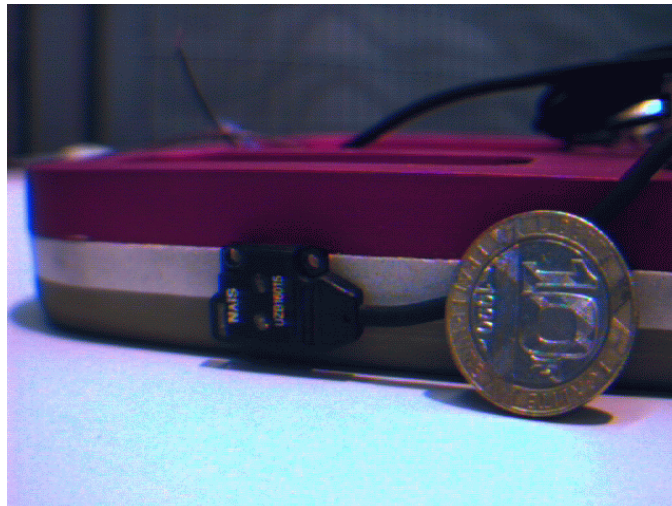
2.2.2.1 Capteur miniature (photo de droite)

Ce capteur fonctionnant en Tout Ou Rien (TOR) doit (d'après le constructeur) se déclencher pour une distance de 8 mm, l'idée était d'en fixer quatre sur le pied pour s'assurer qu'il est bien posé sur le sol. Nous avons réalisé des essais avec différents type de surfaces (voir croquis ci-dessous), mais les résultat n'ont pas été concluants ! En effet, selon la surface, le capteur ne déclenchait pas à la même distance, et l'écart de détection selon la surface était même important ! On a relevé pour une surface noire, une distance de 12 mm, alors que pour une surface blanche, cette distance passe à 53 mm. On ne peut donc pas utiliser ce capteur pour cette application, car l'information délivrée est incertaine, et ne permet pas de déterminer si le pied est bien posé quelque soit le type de sol. La photo ci-dessous montre l'idée de départ pour placer ce capteur.

Procédures de test du capteur miniature :



Fixation du capteur miniature sur le pied :

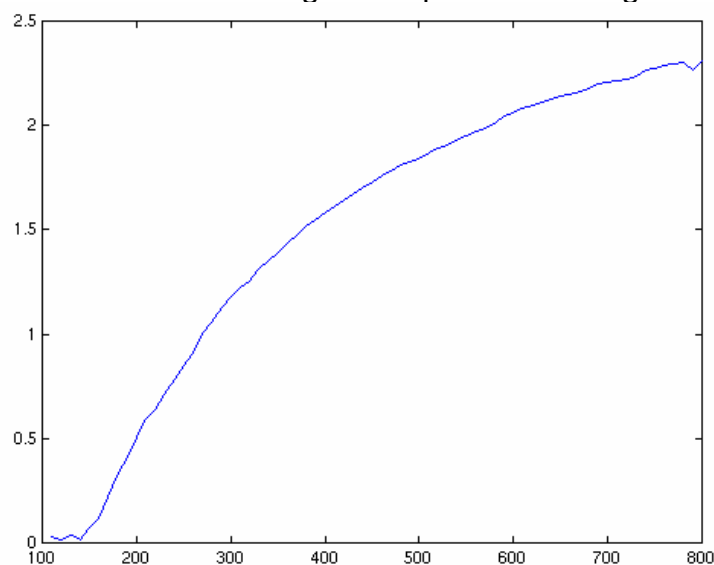


2.2.2.2 Capteur infra rouge moyenne portée (photo de gauche)

Ce capteur est destiné à compléter le capteur Ultra Son, car il est aveugle pour des distances inférieures à 30 cm. Le capteur Infra Rouge quant à lui, possède une plage plus faible, il délivre un courant variant entre 4 mA et 20 mA pour un obstacle entre 10 cm et 80 cm. Cette plage est suffisante car en cas d'obstacle, le robot sera arrêté avant cette limite.

Les essais sur ce capteur sont similaires à ceux effectués avec le capteur US et les résultats sont très satisfaisants. Le capteur fournit une information quasi constante quelque soit la surface qu'il a en face de lui. Le seul défaut qui peut avoir est de n'être pas linéaire (voir courbe d'étalonnage ci-dessous). Pour l'étude plus détaillée sur ce capteur, veuillez consulter le rapport de stage [1].

Courbe d'étalonnage du capteur infra rouge :

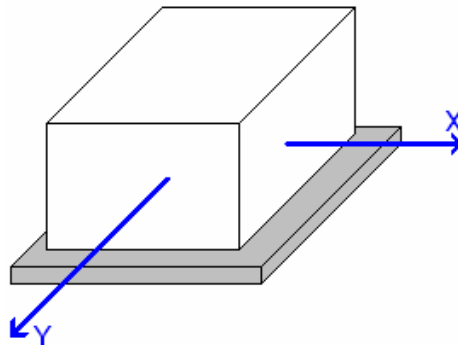


2.2.3 Inclinomètre



Ce capteur en technologie piézo capacitif permet une mesure précise des angles selon deux axes (voir croquis ci-dessous).

Axes de mesures du capteur :

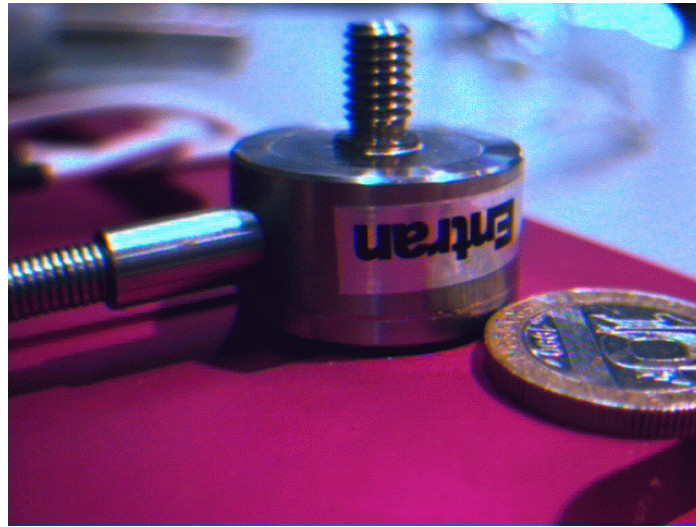


L'emplacement initial de ce capteur est le pied. A cet emplacement, il peut nous fournir deux types d'informations, l'inclinaison du pied par rapport à la jambe, et l'inclinaison du sol, lorsque le pied est posé. C'est pour cela qu'on peut dire que ce capteur est à la fois extéroceptif et proprioceptif, car dans un cas il fournit une information sur le robot lui même, et dans l'autre cas, l'information renseigne sur l'environnement extérieur.

Ce capteur est analogique et linéaire, et son fonctionnement est assez simple à comprendre, il est composé de deux cellules (une cellule par axe). Une cellule est composé par un condensateur piézo à capacité variable, et dont le diélectrique est un fluide. Pour un angle donné, une certaine surface est plongée dans le diélectrique, donc le condensateur prends une certaine valeur de capacité. Lorsque l'angle augmente, la capacité diminue, et vice versa. Pour convertir ensuite cette capacité en une tension, la cellule est insérée dans un oscillateur dont la fréquence de sortie lui est liée. L'oscillateur est ensuite suivit d'un convertisseur fréquence/tension. Ce capteur est très précis et sa résolution est excellente, nous avons constater une variation de la tension de sortie pour une variation de $1/20^{\text{ème}}$ de degré. Cela correspond à 7200 valeurs possibles pour une rotation de un tour. Pour

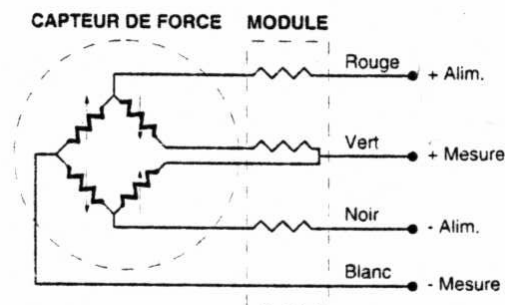
pouvoir conserver cette précision et cette résolution, le CAN devra comporter 12 bits significatifs et un bit de signe. D'après le constructeur, ce capteur est capable de mesurer une variation de $1/100^{\text{ème}}$ de degré, mais nous avons aucun matériel permettant de réaliser une variation aussi faible. Si l'on souhaite utiliser ce capteur pour des variations aussi faibles, le CAN devra posséder 15 bits significatifs et un bit de signe.

2.2.4 Capteur d'effort



Ce capteur est composé d'une jauge de contrainte montée en pont (voir schéma ci-dessous), il est capable de mesurer des forces aussi bien en traction qu'en compression allant jusqu'à 2500N.

Structure interne du capteur d'effort :

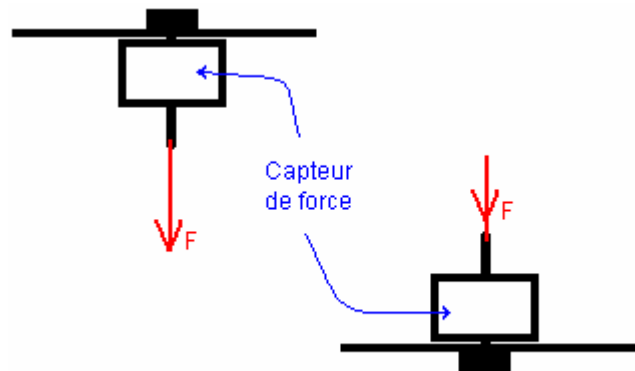


Ce capteur est suivi d'un amplificateur différentiel spécialisé qui délivre une tension comprise entre $-4,8\text{ V}$ et $+4,8\text{ V}$ pour une force appliquée entre -2500 N (compression) et $+2500\text{ N}$ (traction).

Il a été réalisé quatre essais sur banc de mesure :

- un 1^{er} essais de 0 à 2500N
- un 2nd essais de 0 à - 2500N
- un 3^{ème} essais de 0 à 250N
- un 4^{ème} essais de 0 à - 250N

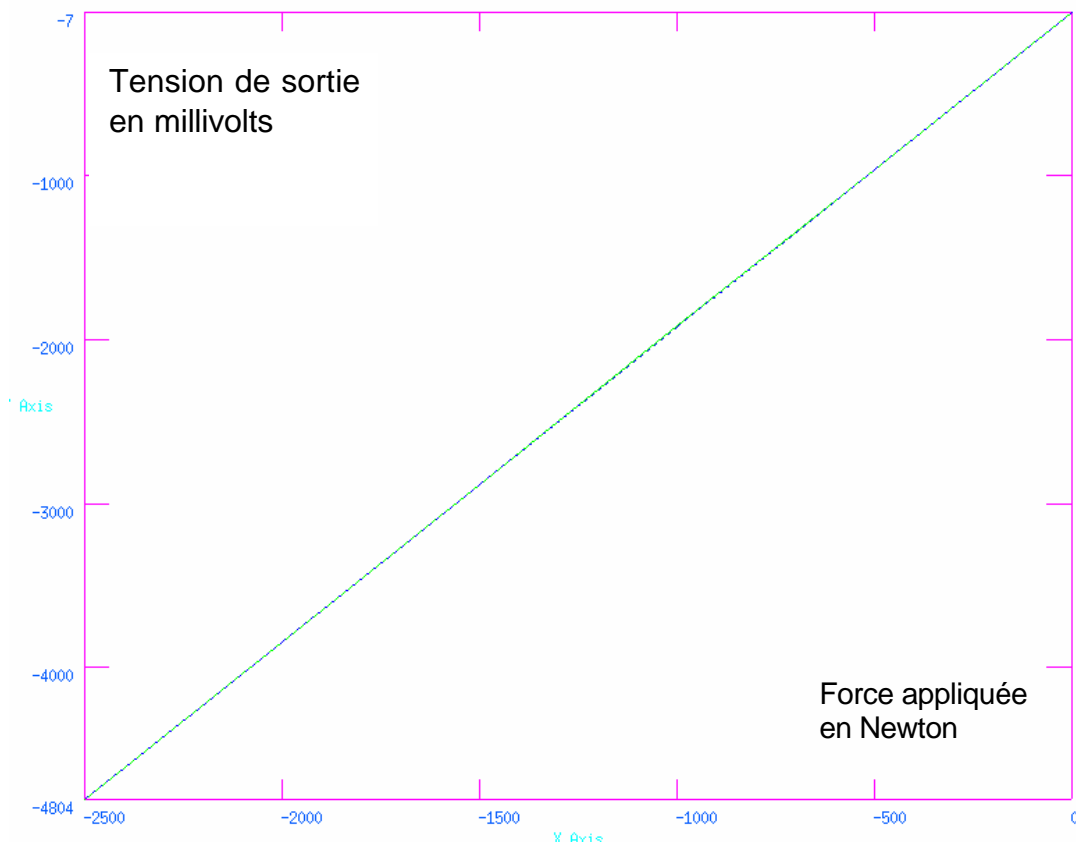
Ces essais sont très simplistes, mais permettront ensuite de déterminer la linéarité et la fonction de transfert de l'ensemble capteur + ampli, lors de ces essais nous avons simplement fait varier la force sur le capteur (voir croquis ci-dessous) puis relevé la tension en sortie.



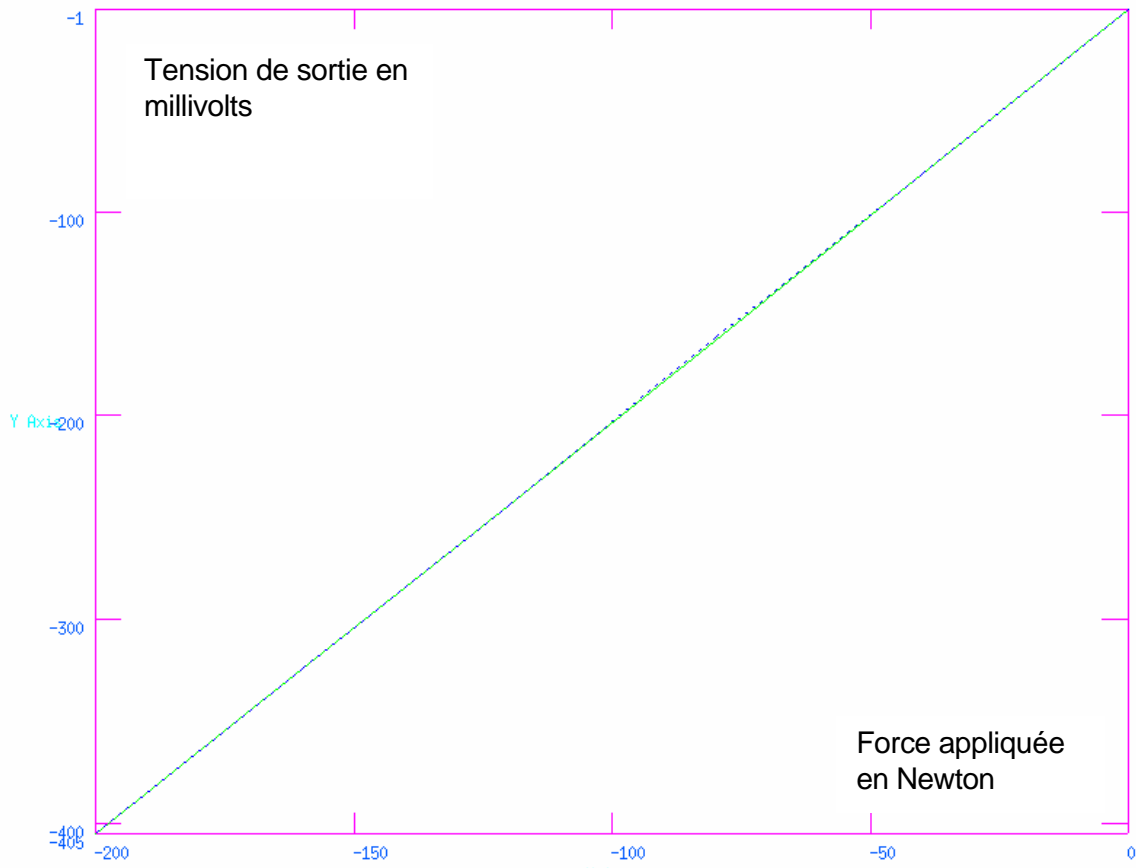
A partir de ces valeurs, nous pouvons tracer les différentes fonctions de transferts correspondant à chaque essais.

Allures des tensions relevées à la sortie de l'ampli :

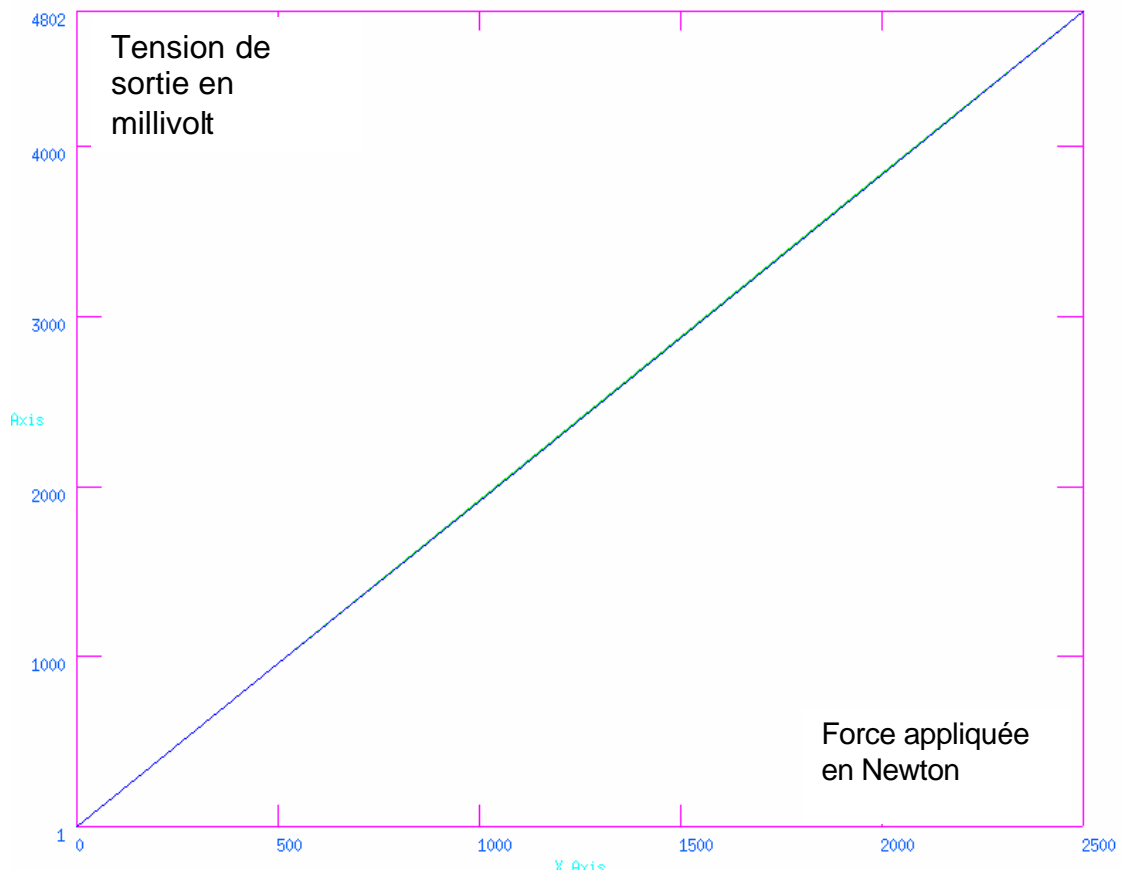
Cycle en compression de 0 à F_n :



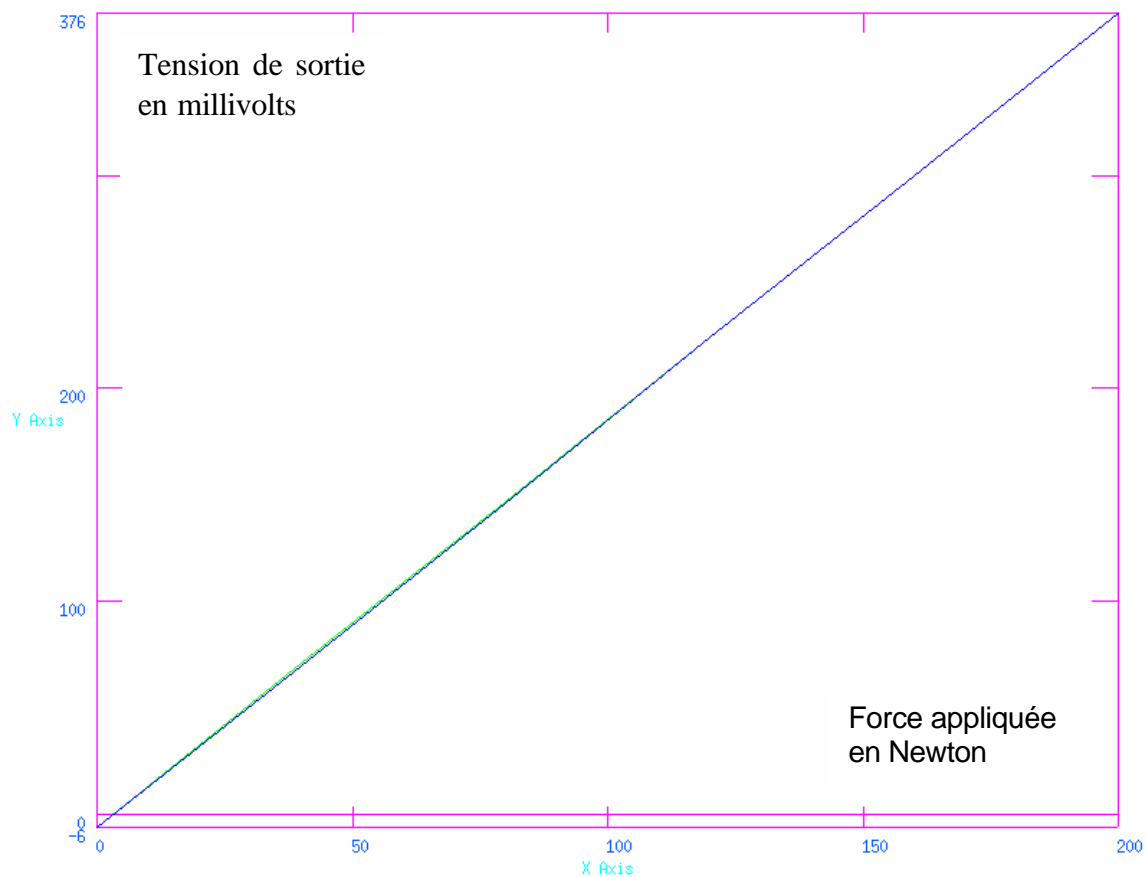
Cycle de compression pour de faibles forces :



Cycle de traction de 0 à F_n :



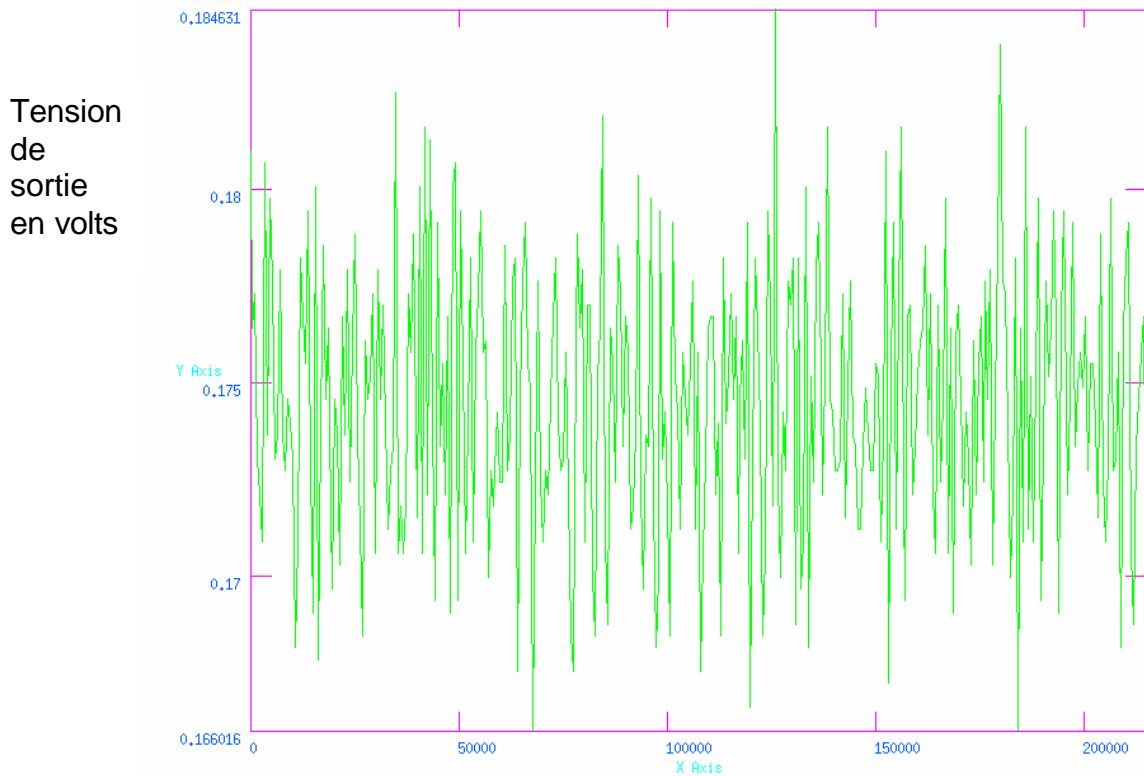
Cycle de traction pour de faibles forces :



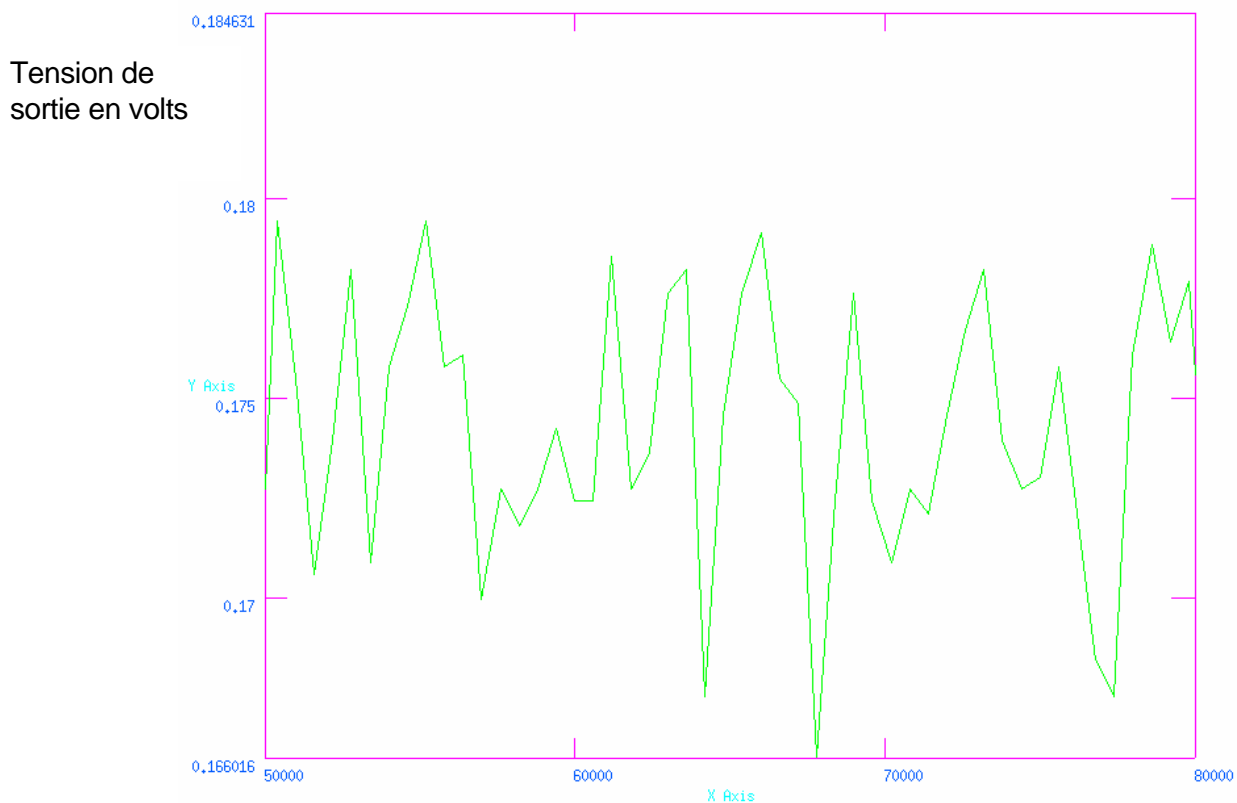
A force variable, lors d'un cycle de charge décharge de 0 à 250 daN et de 250 daN à 0, on remarque une légère hystérésis de valeur maximum de 3 mV, soit 1,56 N. La fonction de transfert ampli plus capteur reste très linéaire même pour de faibles forces, que ce soit pour la traction ou la compression. D'ailleurs, une mesure sur table a permis de relever, pour une masse de 100 grammes, une tension cohérente avec un calcul théorique (grâce à un voltmètre précis ne mesurant que la composante continue du signal). Pour une masse de 100 grammes posée sur le capteur, soit une force de 0,981 N. Théoriquement, pour cette force, on doit avoir en sortie $(4800/2500) \times 0,981$, soit 1,88 mV. Sur table nous relevons 1,81 mV, soit 0,942 N. Nous avons une erreur de 3,97 % sachant que des mesures avec des tensions aussi faibles nécessitent aussi de prendre en compte la précision des appareils de mesures.

Nous avons ensuite soumis le capteur à une force constante de 981 N en traction, et avons observé son comportement pendant un cycle d'une heure, puis pendant un cycle de 500 secondes. Pour ce faire, les acquisitions ont été réalisées à intervalles réguliers sur le rack VME (le programme d'acquisition se trouve en annexe).

Variation de la tension pour une charge fixe en traction sur 1 heure :



Variation de la tension pour une charge fixe en traction sur 500 secondes :



nota : Les valeurs temporelles pour les deux tracés précédent, sont données en multiple de $(1/60^{\text{ème}})$ de seconde. Soit pour le tracé ci-dessus l'acquisition s'effectue sur $(80000-50000) \times (1/60)$ soit 500 secondes. La fréquence d'échantillonnage pour les deux tracés précédent est de 0,1 Hz, soit une acquisition toute les dix secondes.

Lors d'un essai en traction à charge constante de 981N, on relève une oscillation moyenne en sortie de 10mV crête à crête. Cette oscillation est due en partie à des parasites récupérés dans les câbles. Cette oscillation correspond à une variation de $(2500/4800) \times 10$ soit 5,208 N, ce qui donne une erreur de $(5,208/2500) \times 100$ soit 0,208 %.

L'oscillation ayant une pseudo-fréquence extrêmement faible, l'ajout d'un filtre est inutile. Il est à noter la présence d'un bruit blanc de faible valeur sur la sortie de l'ampli, l'amplitude de ce bruit est très faibles et il n'est pas d'en atténuer une partie, car le filtre ajouté aura pour conséquence d'augmenter le temps de réponse du système. Il est à noté aussi que lorsque que le capteur vient d'être branché, on observe sur une heure, un écart de 1,2 mV, soit 0,625 N. Cet écart est due en très grande partie à la dérivée en température du capteur et de l'ampli. Lorsque le capteur et l'ampli ont atteint une température stable, pour une charge donnée, la tension moyenne de sortie ne varie plus.

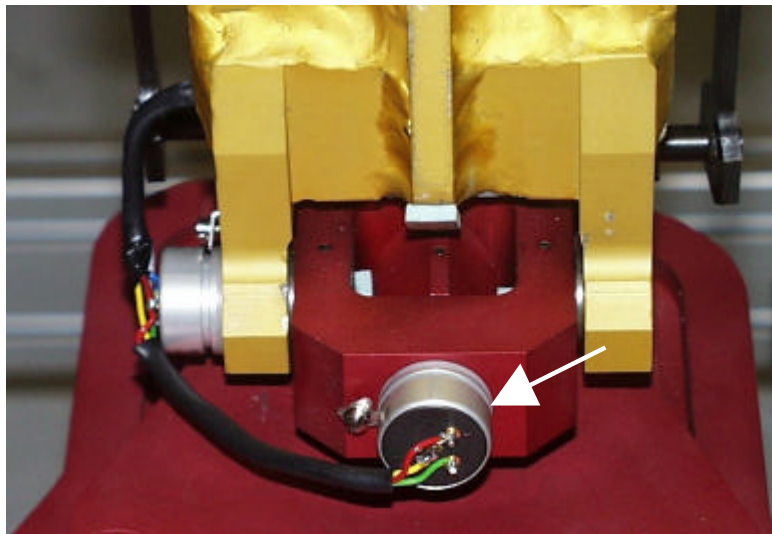
Cependant, il y a un léger défaut dont il faudra tenir compte : lors de l'application d'un couple sur les vis (Par exemple lors du serrage du capteur entre deux plaques), on constate en sortie une composante continue de 12 mV, soit 6,25 N environ selon le couple appliqué, et ce, pour une force nulle. Cette composante sera à tenir compte lors des calculs par programme.

Réglage du zéro de l'ampli :

Le '0' se réglera lorsque le capteur sera nu et soumis à aucune force, ensuite une fois monté sur le pied, l'offset résultant sera mémorisé et traité par programme.

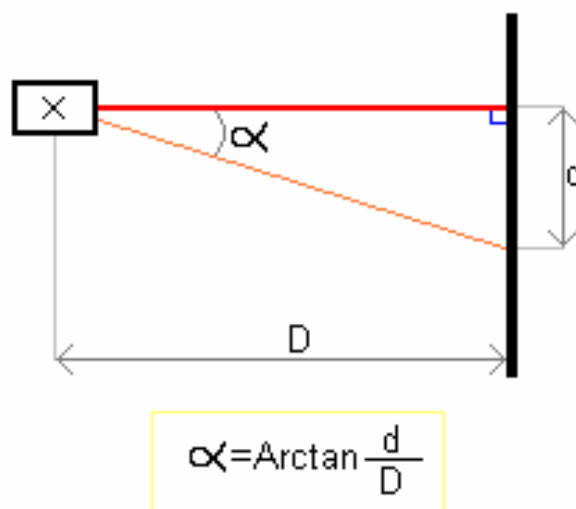
Lors d'une étude plus poussée (lorsque les trois capteurs seront montés sur le pied), il sera possible de déterminer l'évolution de la force sur la semelle du pied, ainsi que les composantes de couples appliqués à la cheville. A l'aide des trois capteurs placés judicieusement sur la semelle, et d'un programme de calcul, il sera possible de déterminer la force appliquée sur la semelle, ainsi que les couples au niveau de la cheville.

2.2.5 Capteur potentiométrique



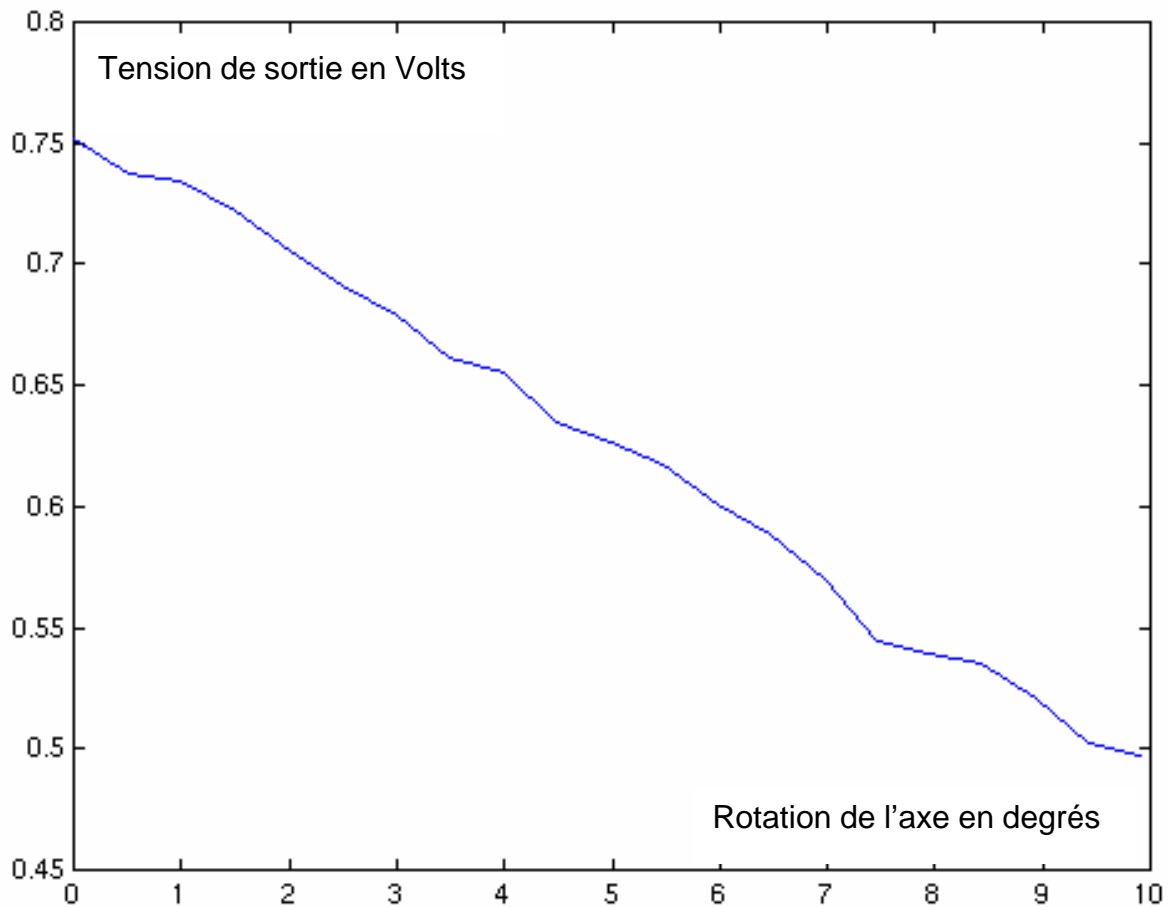
Ce capteur est en fait un potentiomètre mono-tour sans butée en piste cermet. Ce type de piste possède une linéarité supérieure aux classiques pistes carbone qui génèrent en plus du bruit. Ce capteur est placé à chaque articulation du robot, comme l'illustre la photo ci-dessus. Son rôle est de fournir une information sur l'angle relatif entre deux membres. Sur la photo ci-dessus, on observe deux capteurs positionnés selon les axes X et Y sur la cheville.

Nous avons fixé une diode laser sur la tige du capteur afin de positionner précisément la tige sur un angle voulu. Le capteur est placé à une distance D d'un mur sur lequel est fixé un mètre. Le capteur est placé de la sorte que le laser arrive perpendiculairement sur le mur lorsque l'on est à la position zéro. En parcourant une distance d sur le mur avec le laser, on peut ainsi déterminer l'angle formé par la tige entre la position zéro et la nouvelle position.



Ce croquis représente la procédure d'essai vue de dessus, la tige du capteur est fixée sous le laser (à l'emplacement de la croix). Le trait rouge est le laser en position initiale et le trait orange est le laser pour un angle α quelconque.

Le capteur est alimenté par une tension de 10 V, et on relève la tension de sortie en faisant varier l'angle. On obtient alors la fonction de transfert ci-dessous :



Le but de cette étude étant seulement de déterminer la linéarité du capteur en un point x, l'angle '0' ne correspond aucunement à une tension nulle en sortie. On constate que sur le tracé ci-dessus, le capteur possède quelques défauts, mais reste linéaire sur l'ensemble du tracé.

Lorsque ces capteurs seront placés sur le robot, on ne cherchera pas à les positionner pour qu'à un angle x entre deux membres corresponde une tension V. En fait, lors de la première utilisation, il sera déterminé une position de tout l'ensemble dite initiale. Il s'agit de capteurs de position absolue. La commande de robot utilisera ensuite des codeurs optiques pour contrôler les mouvements. Ces codeurs relatifs fournissent théoriquement, une précision de 10^{-5} degrés.

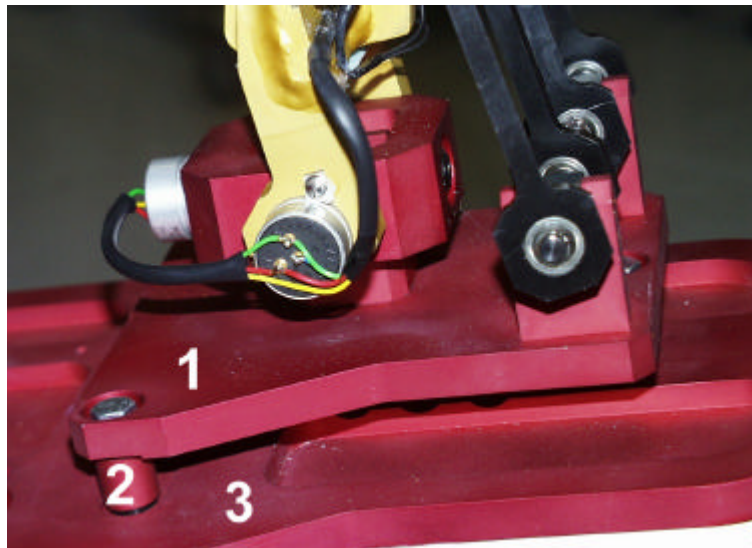
2.2.6 Les Microswitch's



Ces capteurs sont tout simplement des fin de courses destinés à arrêter le systèmes avant les butées mécanique afin de protéger l'ensemble du système en cas de dysfonctionnement. Ils sont situés sur les membres aux extrémités des vis sans fin.

3. LES CAPTEURS D'EFFORT SUR LE PIED

3.1 Le montage du pied

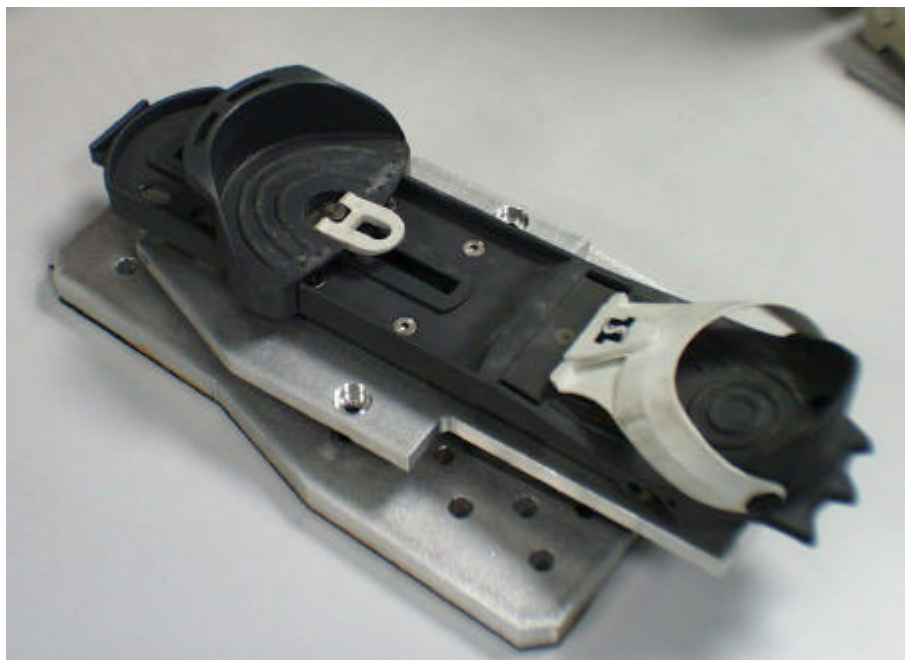


La composition du pied est en trois parties :

- une 1^{ère} partie (1) qui est le dessus du pied
- une 2^{nde} partie (2) qui intégrera les trois capteurs de forces
- une 3^{ème} partie (3) qui est la semelle.

Les forces transmises au pied passeront obligatoirement par les capteurs d'efforts. Les trois capteurs sont disposés en triangle, deux capteurs devant et un derrière. La jambe est placée d'une telle façon que lorsqu'elle est perpendiculaire à la semelle, la force exercé sur le sol est répartie également dans les trois capteurs. Avec cette disposition, il sera possible de déterminer la position du centre de gravité du robot, ainsi que d'analyser les différentes étapes de la marche.

Le robot ne marchant pas encore, il a été réalisé une copie du pied avec une adaptation permettant d'y fixer une chaussure afin de faire l'étude en marchant nous même. La photo ci-dessous montre ce pied.

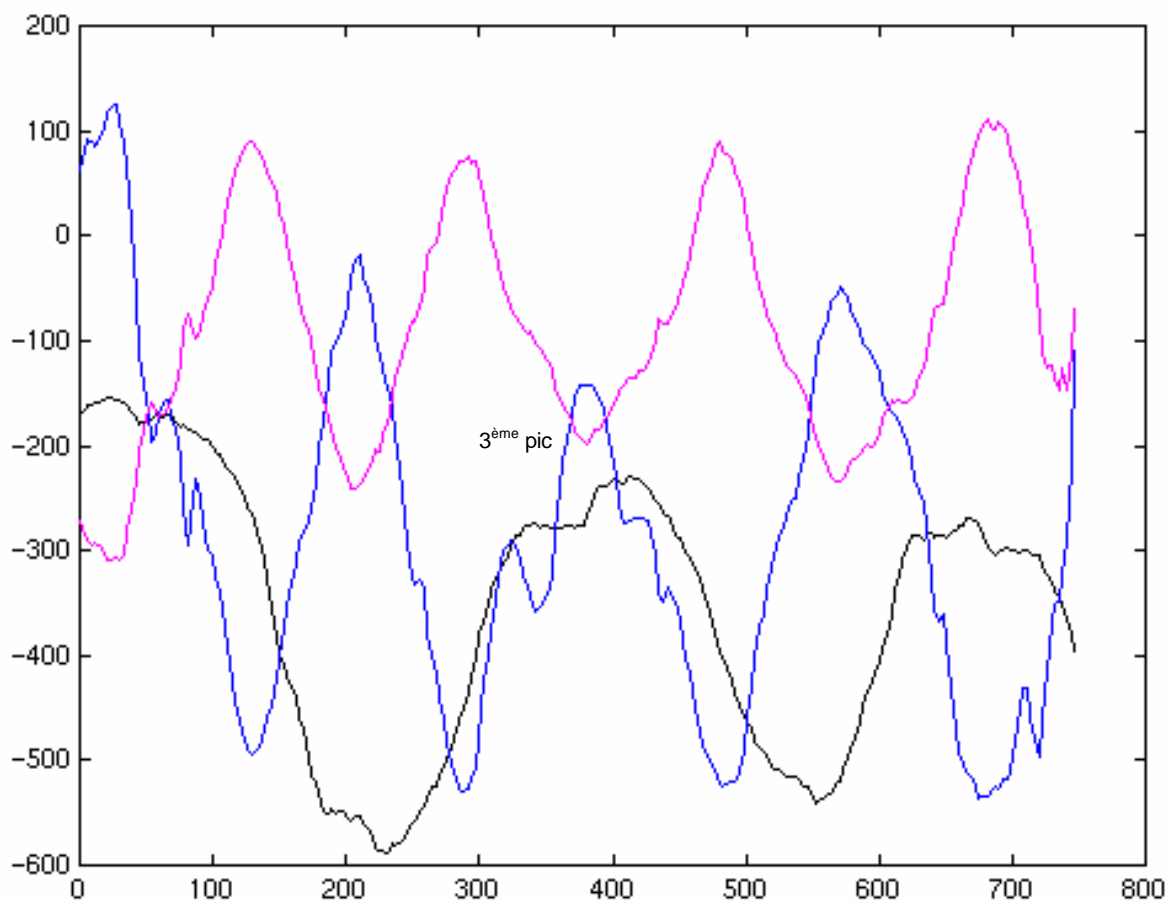


L'étude se déroulera en deux parties, une première partie statique pendant laquelle des mouvements seront effectués sans décoller la semelle du sol. Cette première partie permettra de connaître les forces appliquées sur le sol au niveau de la semelle quand on se penche par exemple. La seconde partie est l'étude en dynamique, c'est à dire la marche avec le pied afin de connaître la répartition des forces sur chaque capteur durant un pas.

3.2 Le pied en statique

Cette étude consiste à connaître les forces exercées entre le pied et le sol lorsque l'on bouge sur place, c'est à dire en se penchant en avant, en arrière, sur la gauche ou sur la droite, puis en revenant au point de départ. Les courbes ci-dessous montrent ces différents essais. Sur les quatre tracés suivants, le temps en abscisse est donné en $1/60^{\text{ème}}$ de seconde, et la force en ordonnée est donnée en Newton. Ces essais ont été effectués avec une personne pesant environ 70 kg, et dont seul le pied avec les capteurs était posé sur le sol.

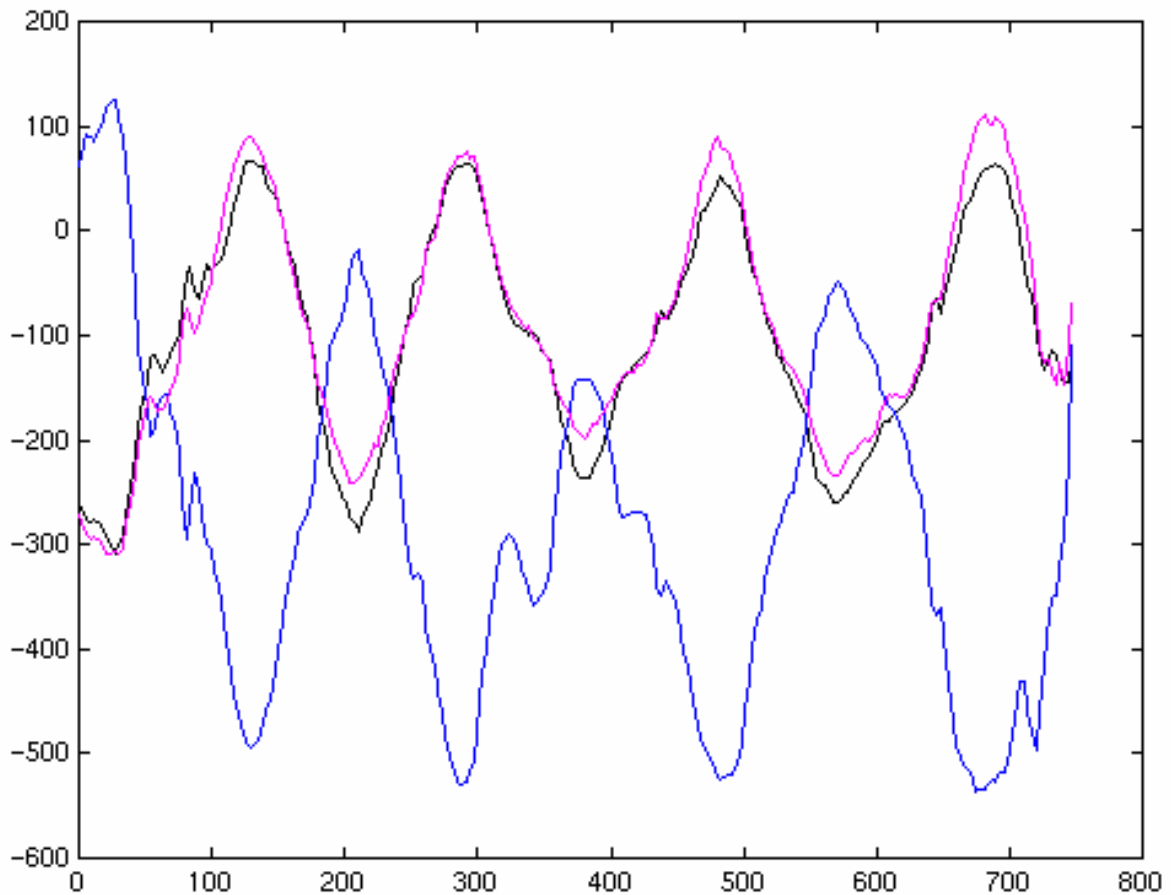
Balancement entre centre et avant :



Ce test étant le premier, il a été difficile de trouver un point d'équilibre initiale, c'est pourquoi les deux premiers pics et le dernier ne sont pas coordonnés. On se basera sur le troisième pic pour l'explication. Les courbes en bleu et noir sont celles des capteurs avant, la courbe rose est celle du capteur arrière. Il est important de voir que en tout point, la somme des trois courbes n'est pas constante. En se

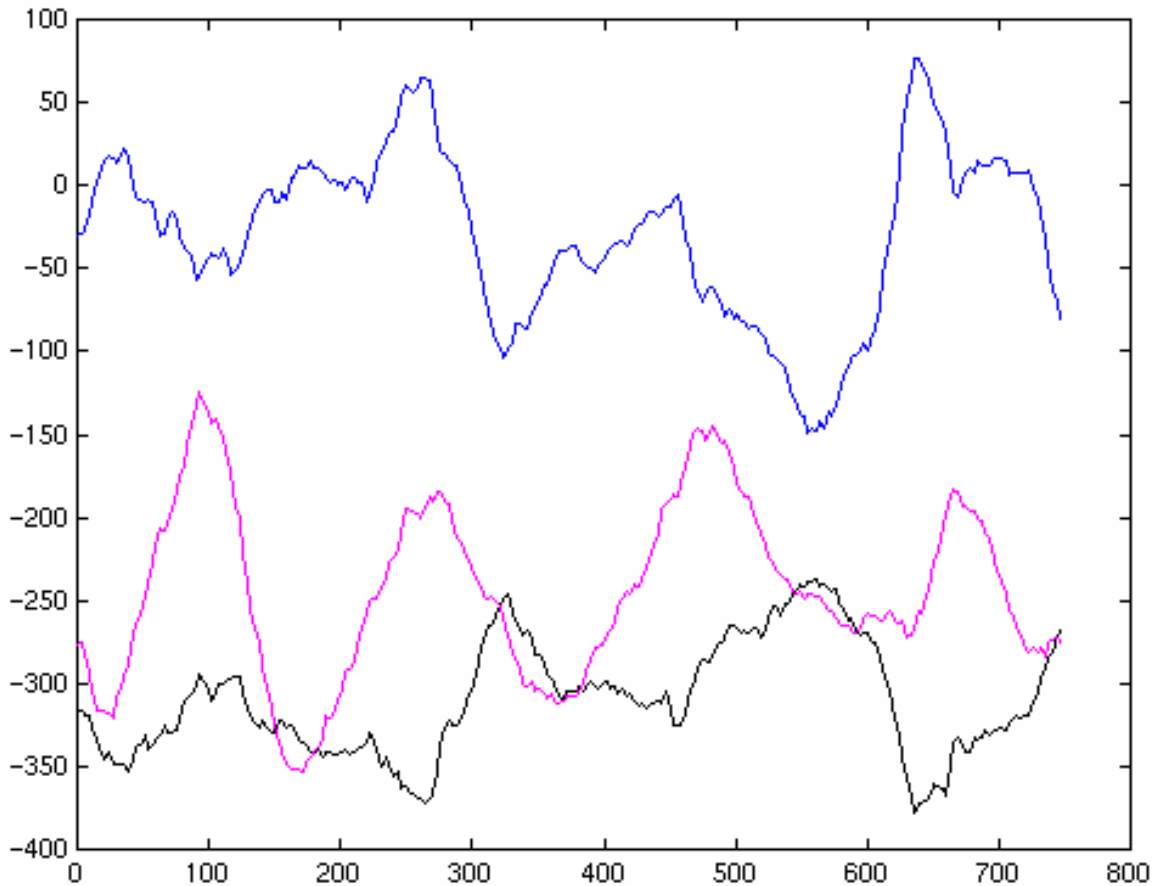
penchant vers l'avant, on comprime les deux capteurs de devant et on étire celui de derrière. Au retour au point de repos, on constate que les trois courbes passent presque par un même point, c'est le point d'équilibre.

Balancement entre centre et arrière :



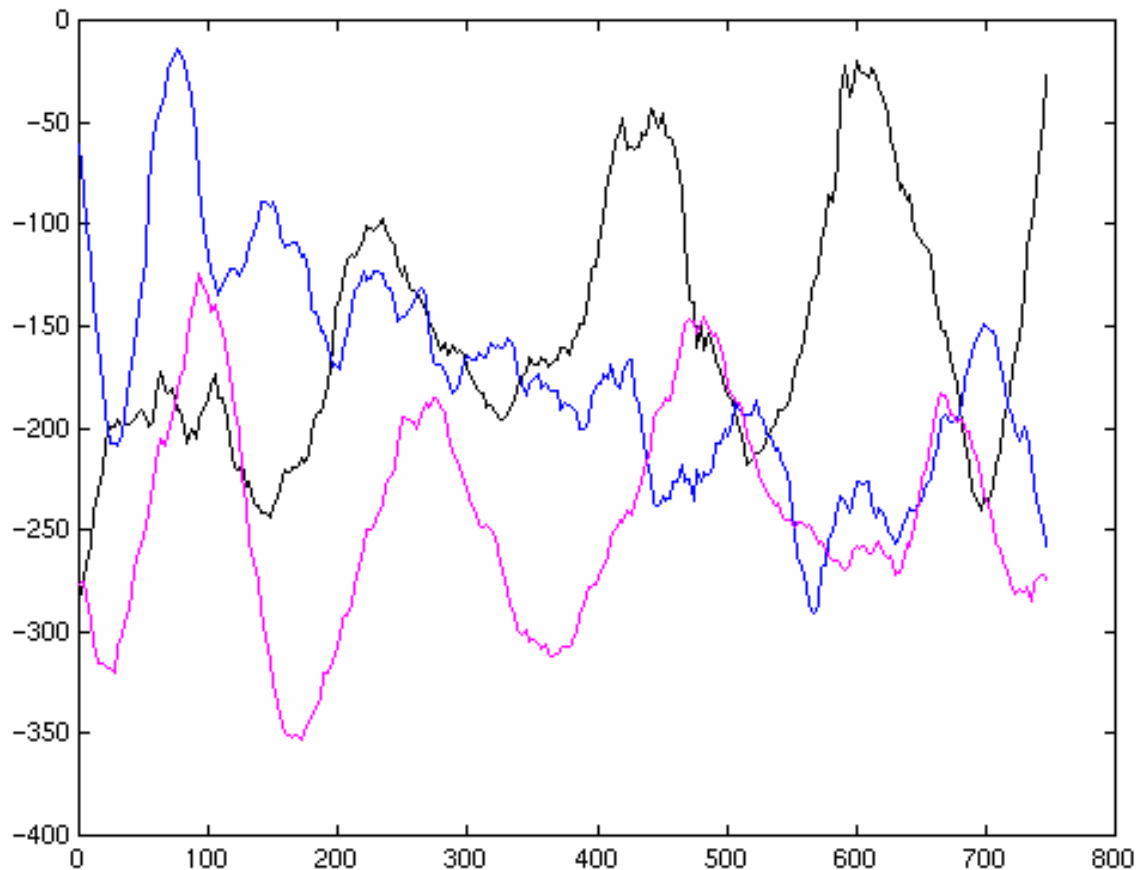
Sur ce relevé, on remarque nettement mieux que sur le précédent les courbes relative a chaque capteur. On a en bleu le capteur arrière et en noir et rose les capteurs de devant. Lorsque l'on se penche en arrière, on comprime le capteur arrière, et on étire les deux capteurs de devant. On constate que la force exercé sur les deux capteurs de devant est relativement bien équilibrée. Le point de repos est atteint lorsque les trois courbes passent par le même point, on peut donc voir que par moment, la position centrale a été dépassée sur l'avant.

Balancement entre centre et gauche :



Sur ce tracé, on a en noir le capteur arrière, en rose le capteur avant gauche et en bleu, le capteur avant droite. Le capteur arrière représente en fait l'oscillation avant/arrière, lorsque l'on est en équilibre, on ajuste perpétuellement le point d'équilibre. Le capteur droite reproduit en fait quasiment l'inverse de l'allure du capteur gauche. En effet, l'axe de rotation passe par le capteur arrière et à équidistance des deux capteurs de devant. Lorsque l'on appuie sur la gauche, on soulève légèrement la droite et vice versa.

Balancement entre centre et droite :



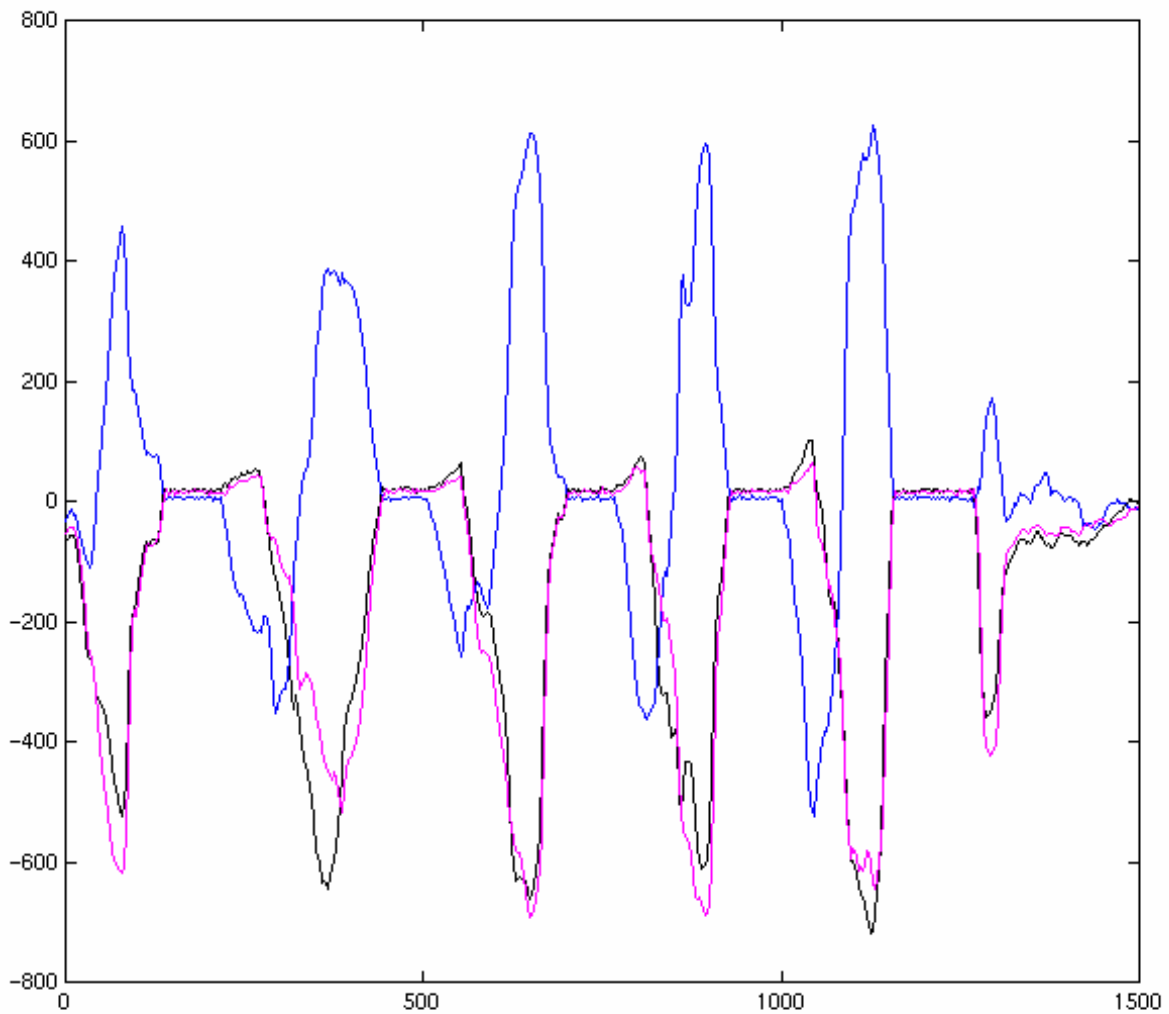
Nous avons ici en bleu le capteur arrière, en rose le capteur avant droite et en noir le capteur avant gauche. Lors de cette mesure le point d'équilibre a eut tendance à se déporter vers l'arrière... Les deux capteurs avant ne sont pas tres coordonnés, mais on arrive à les distinguer.

3.3 Le pied en dynamique

Lors de cet étude, nous avons réalisé un pas avec le pied, et avons analysé les différentes phases de la marche. Nous avons aussi réalisé un impact afin de déterminer la rapidité du capteur et du système d'acquisition.

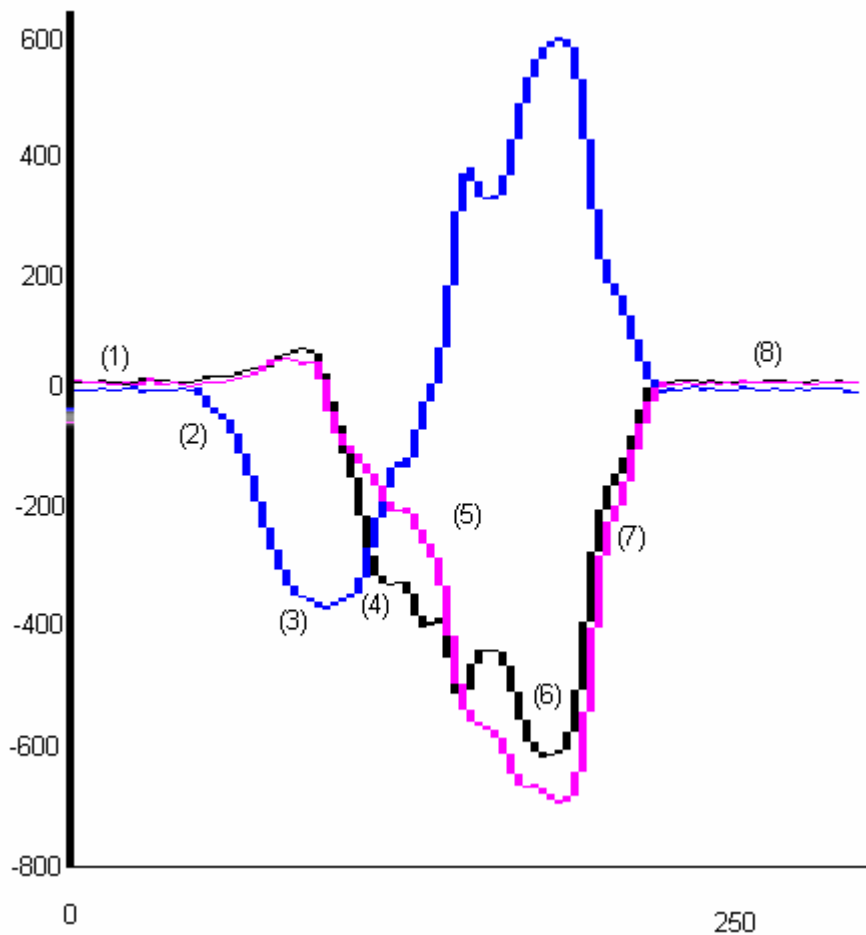
L'exploitation de cette étude permettra par la suite le calcul du point de gravité du robot afin de le maintenir en équilibre.

3.3.1 Réalisation d'un pas



- o Abscisse : Temps en $1/60^{\text{ème}}$ de seconde
- o Ordonnée : Force en Newton

Nous avons en bleu le capteur arrière et en noir et rose les deux capteurs avant. Nous nous baserons sur un pas pour l'explication. La courbe ci-dessous est un zoom sur le quatrième pas sur la courbe ci-dessus.



On peut décomposer un pas lors d'une marche en huit étapes que l'on retrouve sur le tracé ci-dessus :

- 1^{ère} étape (1) : Aucun effort n'est appliqué, le pied est en suspension.
- 2^{ème} étape (2) : Le talon vient juste de toucher le sol, un effort de compression est appliqué sur le capteur arrière, tandis qu'un léger effort de traction se fait sentir au niveau des capteurs avant.
- 3^{ème} étape (3) : La force que l'on applique sur le talon est à son maximum en compression, et va ensuite décroître, tandis que la force exercée à l'avant du pied va croître. La semelle va bientôt être en contact complet avec le sol.
- 4^{ème} étape (4) : La surface totale de la semelle est en contact avec le sol, la force appliquée sur le pied est quasi verticale, la force est répartie équitablement sur chaque capteur.
- 5^{ème} étape (5) : On commence à soulever le talon, la force augmente sur l'avant. A l'arrière, la force s'annule et augmente en traction.
- 6^{ème} étape (6) : La semelle n'est en contact avec le sol qu'avec la pointe du pied, les forces appliquées en compression (sur l'avant) et en traction (sur l'arrière) sont au maximum. Le décollage du pied est imminent.
- 7^{ème} étape (7) : Le pied commence à se décoller, les forces diminuent.
- 8^{ème} étape (8) : Le pied est décollé du sol.

Les photos ci-dessous illustrent chaque étapes expliquées précédemment :

Etape (1) :



Etape (2) :



Etape (3) :



Etape (4) :



Etapes (5) et (6):



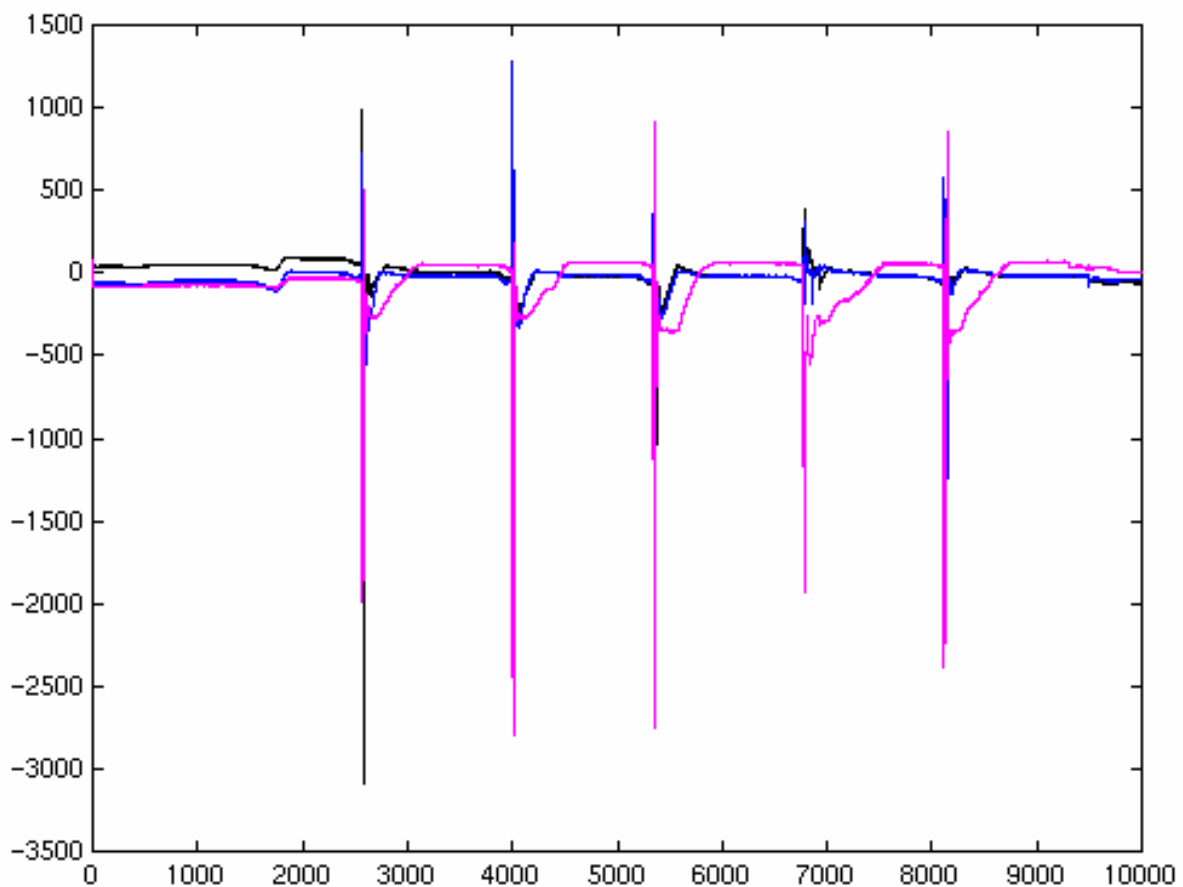
Etape (7) :



Etape (8) :



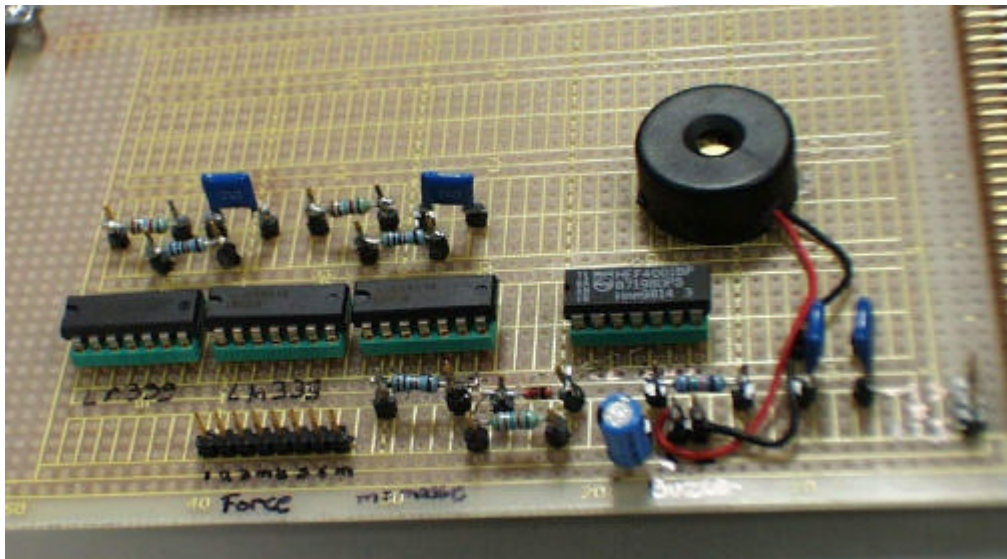
3.3.2 Réalisation d'impacts sur le sol



- o Abscisse : Temps en 1/1000^{ème} de seconde
- o Ordonnée : Force en Newton

Ces impacts ont été réalisés en frappant verticalement vers le sol, puis en soulevant immédiatement le pied juste après. Ces impacts ont pour but de nous montrer la force qui est développée lors d'un impact. Un impact comme ceux ci, peut se produire lorsque par exemple, on pose la pointe du pied sur le rebord d'une marche et que le pied glisse. La force alors développée lorsque le pied vient en contact avec la marche en dessous est très grande. Sur le tracé ci-dessus, on observe une pointe à 3000N pour un seul capteur ! Ceci correspond à une masse d'environ 300 kg, soit plus de 4 fois le poids d'une personne de 70 kg ayant effectuée le test, et ce, pour un capteur. Le robot, lorsqu'il sera complètement monté, pèsera 100 kg environ, il ne faut donc pas que des impacts puissent détruire les capteurs d'effort. Le constructeur indique une charge maximale (sans destruction de la cellule) de 1,5 fois la charge nominale du capteur, soit pour les capteurs utilisés ici (voir documentation en annexe) une charge maximale de 3750 N. Même si pour la charge maximale, le capteur possède une certaine marge avant destruction, il conviendra d'utiliser la gamme au dessus si des impacts de plus de 3750 N se font ressentir pour un capteur.

3.4 Carte sécurité



La carte sécurité est destinée à contrôler et à signaler tout événement anormal tel que les microswitch's fin de courses, les surintensités dans les moteurs.... Ainsi que les impacts au niveau des capteurs d'effort. En effet, un impact lors d'une marche est anormale, une partie de cette carte est donc chargée de signaler ces impacts. La carte sécurité est entièrement réalisée en wrapping, car par la suite, il est prévu la miniaturisation de toute la partie électronique, cette carte pourra donc être réduite à un simple circuit intégré qui réalisera les mêmes fonctions.

La partie détection d'impact comporte trois parties :

- La conception du schéma.
- Le test sur plaque d'essais
- L'intégration sur la carte sécurité

Le montage devait répondre aux exigences suivantes :

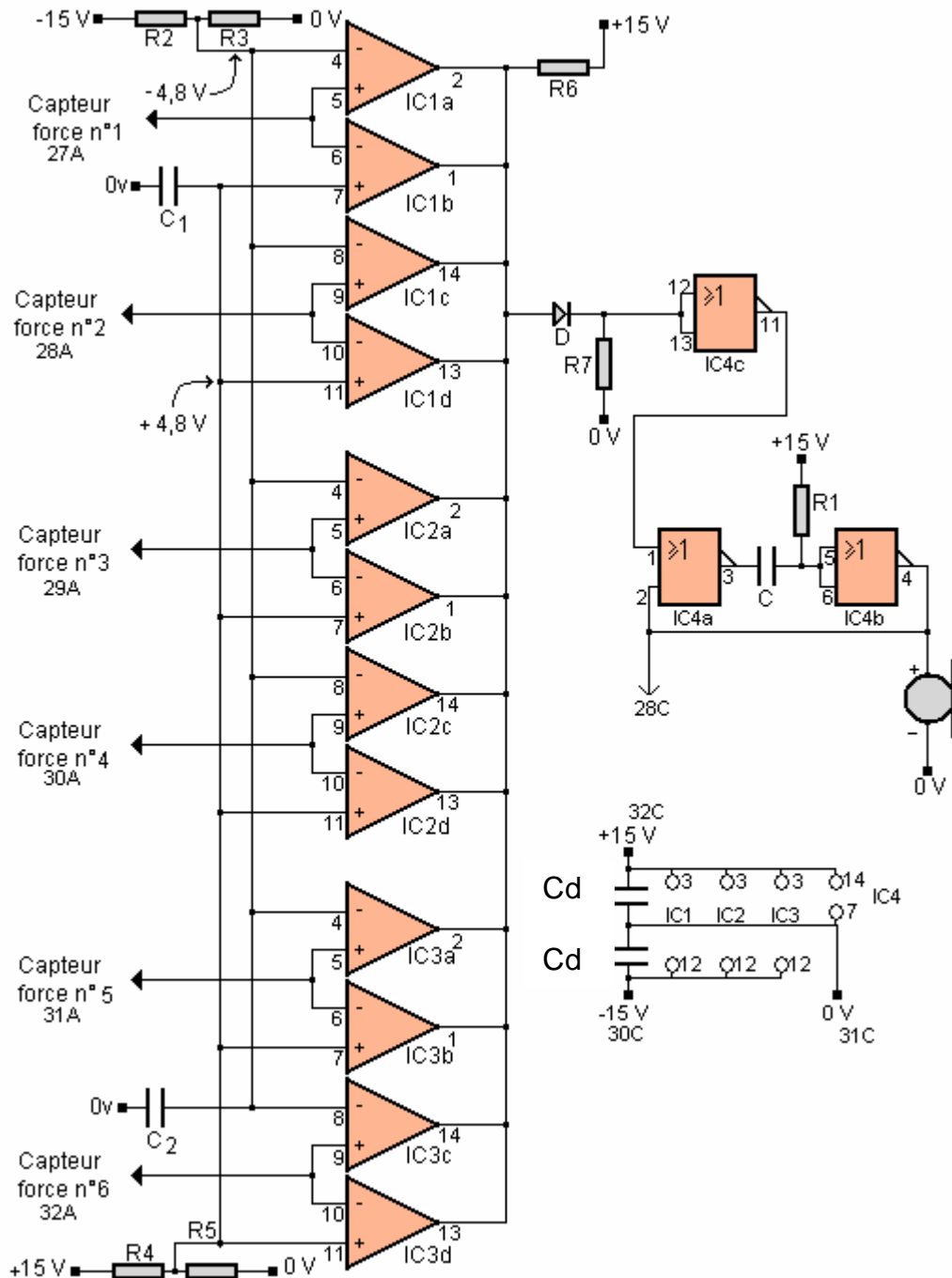
- Détecter des impacts positif ou négatif
- Très rapide
- Signaler l'impact par une tension compatible CMOS pendant un temps supérieure à la durée de l'impulsion
- Tension d'alimentation de +15V et -15V

Sachant que la limite, en utilisation normale, pour les capteurs de force est de +/- 2500N, la tension correspondante est donc +/- 4.8V. Il y a donc impact lorsque l'ampli du capteur délivre une tension supérieure à 4,8V, ou inférieure à -4.8V. Nous avons donc deux seuils. Pour détecter ces impacts, il va donc falloir comparer les tensions issues de chaque capteur avec ces deux seuils. Pour ce faire, nous utiliserons des comparateurs de tension. Notre choix s'est orienté vers des LM339 (voir doc en annexe), ce circuit possède quatre comparateurs par boîtier, les sorties sont à collecteur ouvert, et le temps de comparaison est très faible.

Les deux seuils de tension ont été obtenus par ponts diviseurs découplés par deux capacités plastique. Il y a deux comparateur par capteur pour détecter les deux seuils.

Pour pouvoir maintenir une tension en sortie pendant un temps supérieur à celui d'un impact, il a été fait appelle à une monostable construit autour d'un circuit CMOS quadruple NOR.

Schéma de la partie détection d'impact :



La diode D et la résistance R7 empêche les entrées des portes CMOS d'être en contact avec le -15V. La résistance R6 est une résistance de rappel au +15V. Le buzzer permet de signaler la présence d'un impact.

La temporisation du monostable sera choisie dans une plage de une seconde à dix secondes. La résistance R1 sera calculée avec la formule suivante : $R1 = T / (|\ln 0,5| \cdot C)$.

Explication du fonctionnement :

- En fonctionnement normal : Aucune tension dépasse +/- 4.8V, toutes les comparaisons sont vraies, les transistors de sortie des comparateur sont bloqués. Une tension proche de +15V est présente sur l'anode de D. Par conséquent, D est passante et impose un niveau logique haut sur les entrées de la porte IC4c, la sortie de IC4c se trouve à '0'. Le système étant stable, la capacité C est déchargé, une tension de +15V est présente sur les entrées de IC4b. La sortie de IC4b est à '0'. Les deux entrées de IC4a étant à '0', rien ne se passe.
- Présence d'un impact : Une entrée va voir sa tension dépasser +/-4,8V, de ce fait, l'une des comparaison va être fausse. Le transistor de sortie du comparateur va être bloqué et imposer une tension de -15V sur l'anode de D. La diode D est alors bloquée, et un niveau '0' est présent sur les entrées de IC4c. La sortie de IC4c passe alors à '1', de ce fait, la sortie de IC4a passe à '0'. Le condensateur étant déchargé, la tension à ses bornes est nulle et ne peut pas varier instantanément. Les entrées de IC4b sont alors à '0'. La sortie de IC4b est alors à '1', ce niveau logique verrouille la porte IC4a, le buzzer sonne, le condensateur se charge jusqu'à $V_{cc}/2$ en mettant un temps T, puis la sortie de IC4b recalcule à '0' le système redevient stable jusqu'au prochain pic.

Nomenclature des composants :

Désignation	Valeur
R1	Entre 100kΩ et 1MΩ (voir texte)
R2	8,2kΩ
R3	3,9kΩ
R4	8,2kΩ
R5	3,9kΩ
R6	10kΩ
R7	220kΩ
C	10uF 25V
C1	100nF à 680nF
C2	100nF à 680nF
Cd (x2)	680nF
D	1N4148
IC1	LM339
IC2	LM339
IC3	LM339
IC4	HEF4001
Bz1	Buzzer 12-16V

Lors des test, nous avons appliqué une tension de 4,9V pendant 10ns sur chaque entrée puis une tension de -4,9V. Le monostable à déclenché dans tout les cas. Ce montage fonctionne correctement et réponds au cahier des charges fixé précédemment.

CONCLUSION et REMERCIEMENT

Le stage de fin d'étude que je viens de réaliser m'a permis de travailler sur un projet très intéressant qui est la conception d'un robot bipède anthropomorphe. Ce projet m'aura permis d'améliorer mes connaissances dans un vaste domaine comme l'automatisme, l'informatique et le traitement du signal.

Ce stage m'a aussi permis de découvrir d'autre projet, comme MOVI ou SHARP qui sont le guidage et le repérage par camera.

Je remercie toute l'équipe des moyens robotique ainsi que l'ensemble des personnes présentes dans la halle robotique qui ont pu m'aider et me conseiller pendant toute la durée du stage, ainsi que l'agréable ambiance qu'ils font régner.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Deradji Méharzi, "Les capteurs de proximités sur le projet BIP", rapport de stage IUT, grenoble, 1999.
- [2] Georges Asch, "Les capteurs en instrumentation industrielle", éditions Dunod.

ANNEXES

- **Programme en 'C' pour l'acquisition sur Rack VME**
- **Capteur d'effort et ampli de mesure Entran**
- **Quadruple comparateur LM339**