

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou



Faculté De Génie Electrique Et D'Informatique
DEPARTEMENT D'Automatique

**Mémoire de Fin d'Etudes
de MASTER ACADEMIQUE
Spécialité : Automatique
Option : Commande des systèmes**

Présenté par
**BELKHIR Aghiles
BEKHTAOUI Idir Jugherta**

Mémoire dirigé par **Rabah MELLAH**

Thème

**Commande en force d'une architecture
de téléopération**

Mémoire soutenu publiquement le 29/09/2014 devant le jury composé de :

Mr MESSAR Youcef

Grade, Lieu d'exercice, Président

Mr MELLAH Rabah

Grade, Lieu d'exercice, Rapporteur

Mr MAIDI Ahmed

Grade, Lieu d'exercice, Examineur

Mr ALLED Mourad

Grade, Lieu d'exercice, Examineur

**Ce travail à été réalisé au Laboratoire d'asservissement du
département Automatique ,Faculté Génie Electrique et Informatique.**

Remerciements

*Tout d'abord, nous tenons à exprimer toutes notre gratitude à **R. MELLAH** pour avoir proposé ce thème .Son conseil et profond savoir scientifique nous a permis de venir à bout de notre présent travail.*

Nous exprimons notre remerciement à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail.

Nous tenons aussi à remercier tout nos professeurs qui nous ont enseignés durant tout notre cursus d'étude, ils nous ont enrichis de connaissances et de savoir afin de guider vers un meilleur avenir professionnel.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents qui ont toujours été à mes côtés pour me soutenir, m'encourager, me conseiller et veiller à mettre tout à ma disposition pour pouvoir étudier dans les meilleures conditions possibles.

A mon frère, ma sœur, A tous mes amis qui seront se reconnaître.

A. BELKHIR

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents qui ont toujours été à mes côtés pour me soutenir, m'encourager, me conseiller et veiller à mettre tout à ma disposition pour pouvoir étudier dans les meilleures conditions possibles.

A mon frère, A tous mes amis qui seront se reconnaître.

I J.BEKHTAOUI

Sommaire

Sommaire

Liste des figures

Introduction générale.....	1
-----------------------------------	----------

Chapitre I: Généralités sur la téléopération

I.1	Introduction.....	3
I.2	Les caractéristiques d'une situation de téléopération.....	4
I.2.1	Définition.....	4
I.3	Généralités sur les engins de téléopération.....	5
I.3.1	Engins aériens.....	5
I.3.2	Engins sous-marins.....	6
I.3.3	Engins terrestres.....	7
I.3.4	Domaine médical.....	8
I.3.5	Assistance à l'handicap.....	9
I.4	Les interfaces haptiques.....	10
I.5	Les systèmes à retard haptique.....	11
I.5.1	Le sens tactile.....	11
I.5.2	La kinesthésie.....	11
I.6	La structure du système de téléopération bilatérale.....	12
I.7	Système à retard d'effort.....	12
I.7.1	Introduction.....	12
I.7.2	Fonction du retour d'effort.....	13
I.7.3	Les systèmes de télé opération sans retour d'effort.....	13
I.8	Conclusion.....	14

Chapitre II:Arduino

II.1	Introduction.....	15
II.2	La carte d'acquisition.....	15
II.2.1	Définition de la carte Arduino.....	15

II.2.2	Caractéristique de la carte Arduino.....	16
II.3	Architecture de la carte.....	17
II.3.1	Le microcontrôleur.....	17
II.3.1.1	Caractéristique du microcontrôleur ATMEGA 2560.....	17
II.3.2	Les entrées-sortie de la carte.....	18
II.3.3	Mémoire.....	18
II.3.4	L'alimentation.....	19
II.3.5	Visualisation.....	19
II.3.6	La connectique.....	19
II.3.7	Carte d'extension «SHIELD »	20
II.4	Architecture SOFTWARE de la carte.....	20
II.5	Logiciel.....	24
II.5.1	L'interface logicielle.....	24
II.5.2	Structure de logiciel.....	24
II.5.3	Structure de programme.....	25
II.5.4	Utilisation de la carte Arduino comme périphérique d'entrée sortie pour Matlab.....	25
II.6	conclusion.....	27

Chapitre III : Description du dispositif

III.1	Introduction.....	28
III.2	Présentation du projet de téléopération à ressentie d'effort.....	28
III.3	Partie commande.....	29
III.3.1	Introduction.....	29
III.3.2	Problématique.....	30
III.3.3	Partie Maître.....	31
III.3.3.1	Dispositif du pont.....	32
III.3.3.2	Capteur d'effort.....	34
III.4	La commande MLI.....	35

III.4.1	Technique de commande MLI.....	36
III.4.2	Objectif de la technique MLI.....	36
III.4.3	Structure de MLI.....	36
III.4.3.1	La MLI pré-calculée.....	37
III.4.3.2	La MLI dent scie.....	37
III.4.3.3	La MLI vectorielle.....	37
III.4.4	Intérêt d'utilisation de la MLI.....	37
III.5	Dispositif de la commande de puissance.....	38
III.6	Résultat expérimentaux.....	41
III.7	Conclusion.....	42
	Conclusion générale.....	43
	Bibliographie	

Liste des figures

Listes des figures

Figure I.1: Schéma d'un système de téléopération.....	3
Figure I.2 : Situation de téléopération.....	4
Figure I.3 : L'UAV Predator.....	6
Figure I.4 : Exemples de véhicules sous-marins commandés à distance de type ROV...	7
Figure I.5 : Le Lunokhod 1.....	8
Figure I.6 : robot téléchirurgical.....	9
Figure I.7 : Le robot ARPH.....	10
Figure I.8 : Schéma présente les différents blocs du système de téléopération complète..	12
Figure I.9: Téléopération sans retour d'efforts.....	14
Figure II.1 : Architecture de la carte Arduino.....	17
Figure II.2: Architecture du microcontrôleur ATMEGA 2560.....	18
Figure II.3: Choix de la carte Arduino.....	21
Figure II.4 : Choix du port de la connexion de la carte.....	22
Figure II.5 : envoi du programme.....	23
Figure II.6 : structure du logiciel.....	24
Figure II.7: bibliothèque Arduino IO.....	25
Figure III.1: Moteur à courant continu.....	28
Figure III.2: Vérin électrique.....	28
Figure III.3: Manette et moteur.....	30
Figure III.4: Architecture du système.....	31
Figure III.5: Schéma de puissance d'alimentation.....	32
Figure III.6 : Pont de Wheatstone.....	32
Figure III.7 : Pont de Wheatstone.....	33
Figure III.8 : Les jauges.....	34
Figure III.9 : Configuration des pins (INA 126).....	38

Figure III.10: Configuration des pins (L293E).....	39
Figure III.11 : Circuit du régulateur de tension 7805.....	40
Figure III.12 : Sortie du capteur de force au repos.....	40
FigureIII.13 : Sortie du capteur de force apres application d effort.....	41
FigureIII.14: La sortie pwn delivrée par la carte d’acquisition.....	41
FigureIII.15: La sortie PWM apres filtrage.....	42

Introduction générale

Introduction générale

Le besoin à la technologie moderne nécessite le control à distance des tâches, les exemples typiques sont la manipulation des matériaux nucléaires, le contrôle des petits modèles et l'exploration de l'espace et des fonds sous-marine. La commande à distance des robots ou la téléopération trouve ses applications dans le contrôle direct à distance (impossible souvent) à cause du risque de la disponibilité nécessaire de l'être humain.

De nos jours, le résultat de ce processus historique, allé à une demande croissante d'amélioration des conditions de travail, exige que les opérations industrielles soient faites, d'un côté, de manière toujours plus rapide et plus précise, et d'un autre côté, avec plus de respect de l'intégrité physique et psychique des travailleurs. Une alternative qui conquiert de plus en plus d'espace dans les usines et qui offre les moyens de traiter à la fois de ces deux besoins est la robotique industrielle. Bien que les automates aient vu le jour à l'époque des anciennes civilisations grecques et arabes [1], ce n'est pourtant que dans les années cinquante du siècle dernier que le robot industriel fut créé. Incorporant dans une seule structure les caractéristiques de dextérité du téléopérateur et de programmabilité des machines-outils. En 1954, George Devol développe le premier manipulateur robotique programmé [2].

A partir des années soixante-dix et quatre-vingt les robots commencent à prendre définitivement leur place dans les usines, éveillant un intérêt scientifique croissant pour ce nouveau domaine, traduit par de nombreuses publications spécialisées en présence de retards, il ya un délai entre le moment où l'opérateur réalise une action (par exemple un déplacement du robot maître) et le moment où il observe l'effet de son action (par exemple, le moment où il voit le robot esclave bouger).

La stratégie généralement adoptée est la stratégie dite « action attente »: l'opérateur réalise une succession de petits déplacements et attend d'observer le résultat de l'action précédente pour passer à l'action suivante. Il en résulte une augmentation très importante du temps de réalisation d'une tâche. L'autre effet important est l'apparition d'instabilités dans les systèmes à retour d'effort. Or une bonne gestion de ces forces de contact est cruciale pour certaines tâches de téléopération. Un aspect important de ces projets concerne le retour de force et la capacité, pour la personne qui commande les mouvements du robot, à ressentir les efforts qui lui sont appliqués. Le but est d'améliorer la qualité et l'immersion de la téléopération.

L'objectif de ce mémoire est précisément l'étude de nouveaux concepts permettant le contrôle des efforts par l'opérateur et la commande d'une interface haptique de la téléopération, ce système doit reproduire la sensation d'un effort appliqué sur une partie du système (un capteur d'effort) et le faire ressentir sur l'autre partie (la manette) le plus fidèlement possible , en particulier la qualité des sensations kinesthésiques de l'opérateur.

Introduction générale

La kinesthésie étant, nous le rappelons, la perception consciente des positions dans l'espace et des forces appliquées sur chacune des parties du corps. On parle donc de bonnes sensations kinesthésiques, quand les sensations de l'opérateur sont cohérentes avec les interactions entre le robot esclave et son environnement.

Dans ce mémoire l'objectif de notre projet est basé sur la réalisation d'une architecture de téléopération bilatérale à un degré de liberté.

Ce travail comporte trois chapitres

Le premier chapitre est consacré à l'introduction de la téléopération ainsi les généralités sur ce domaine.

Dans le deuxième chapitre, nous avons présenté la carte d'acquisition ARDUINO et son principe de fonctionnement.

Dans le dernier chapitre, nous exposons le système en faisant part de ces composants et aussi l'interprétation des graphes requis dans l'expérience.

Enfin, nous terminons ce travail avec une conclusion général récapitulant le contenu de notre projet.

Chapitre I

Chapitre I : Généralités sur la Télopération

I.1 Introduction

Les télémanipulateurs sont conçus pour permettre aux êtres humains de manœuvrer à distance les tâches dangereuses et sensibles par l'intermédiaire des robots manipulateurs assurant les meilleurs rapports de sécurité, le coût faible et la meilleure précision. Comme représenté sur la figure (I.1), un système de télopération présente généralement cinq composants :

- un opérateur qui voulant exécuter une tâche à distance.
- un contrôleur maître qui est interfacé à l'opérateur.
- un canal de communication par lequel des commandes de contrôle sont transmises.
- un manipulateur esclave qui accomplit la tâche.
- et un environnement à distance sur lequel la tâche est conduite.

Basé sur l'interaction entre l'opérateur et le maître, une commande de contrôle est émise à l'esclave à travers le canal de communication afin d'exécuter la tâche désirée au niveau du manipulateur distant. Afin d'empêcher des dommages, pour réduire le temps d'accomplissement de tâche et pour augmenter la performance, l'information de contact de l'emplacement à distance doit être transmise à l'opérateur. Cette information peut être présentée à l'être humain directement par un signal de retour au niveau du contrôleur maître ou bien, présentée indirectement à travers des afficheurs visuels ou acoustiques.

Dans le premier cas, l'information de contact sous forme de signal de force est convertie en un signal mécanique par l'actionneur au niveau du maître, puis présenté à l'opérateur humain. Dans ce cas, l'opérateur et l'environnement sont cinesthésiquement couplé, et la commande est dite bilatérale, vu que l'information circule dans les deux sens. Bien qu'il à été prouvé que l'affichage graphique de la force améliore de manière significative la commande de la force de contact d'environnement.

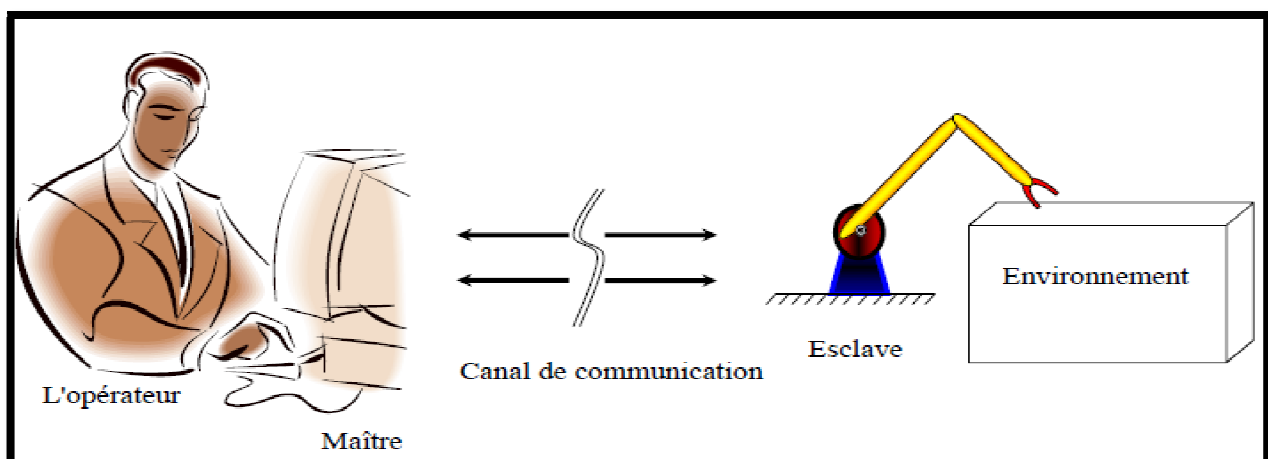


Figure I.1: Schéma d'un système de télopération

I.2 Caractéristiques d'une situation de télopération

I.2.1 Définition

La télopération est la réalisation à distance d'une action. Celle-ci est mise en jeu lorsque l'environnement est jugé trop hostile ou inaccessible à l'homme et quand les opérations à effectuer sont trop imprévisibles ou trop complexes pour être automatisées.

Dans une telle situation l'opérateur est installé à un poste fixe de pilotage et commande à distance un engin pouvant se présenter sous forme de télémanipulateur fixe ou de plateforme mobile. En retour, il reçoit des informations en provenance de la télérobotique sur un terminal de visualisation de type ordinateur (figure I.2). Bien que certains restreignent le terme de télopération au contrôle direct (non automatisé), nous considérons que la télopération englobe tout un spectre allant du contrôle manuel jusqu'à celui de supervision. Pour aller plus loin, nous estimons même que tout bon système de télopération doit pouvoir fournir un large éventail de types de contrôle et en particulier des modes partagés, essentiels à la réalisation d'une coopération homme-machine.

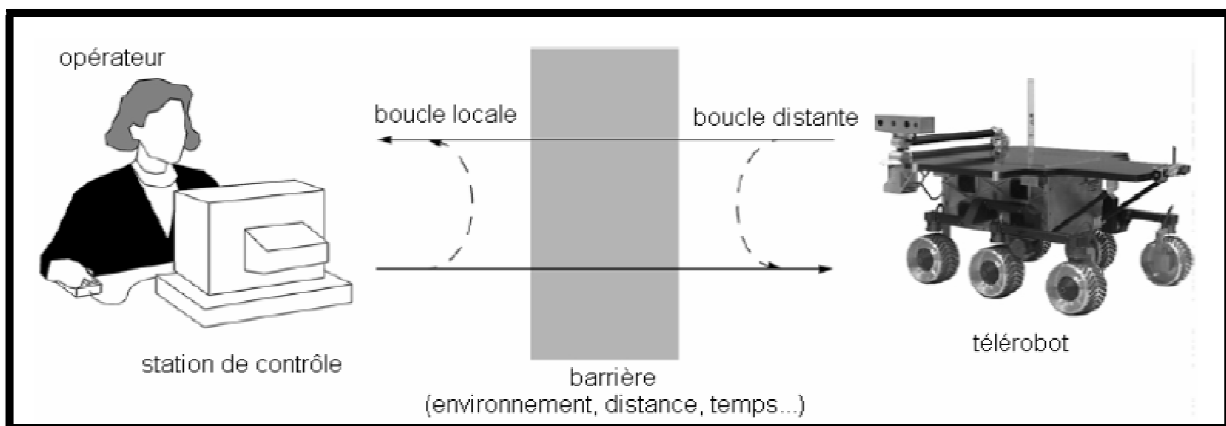


Figure I.2 : Situation de télopération.

Un opérateur génère des commandes depuis une station de contrôle et reçoit des retours sur une interface graphique. L'engin situé à distance exécute les commandes, souvent en utilisant un certain niveau d'autonomie embarquée. Les engins de télopération ont plusieurs caractéristiques qui les distinguent des vulgaires dispositifs radiocommandés.

Premièrement, les véhicules télopérés sont des engins qui demandent une grande confiance dans leur système de navigation. En effet, étant donné que ces véhicules évoluent régulièrement dans des environnements inconnus et complexes, des problèmes de navigation peuvent rapidement conduire à une perte du robot.

Deuxièmement, la télérobotique nécessite un générateur de commande du mouvement efficace. Dans de nombreux cas, la réussite de la tâche est directement corrélée à l'efficacité avec laquelle l'engin se déplace. Enfin, le véhicule a besoin de capteurs pour se localiser. Effectivement, du fait que ces robots couvrent de grandes distances, l'élaboration d'une carte du parcours effectuée est un facteur fondamental afin de mener à terme la mission demandée.

I.3 Généralités sur les engins de télopération

Les véhicules de télopération sont apparus au début du 20^{ème} siècle, mais ce n'est que dans les années 70 qu'ils ont commencé à être largement employés. Actuellement ces engins sont utilisés pour des applications aériennes, terrestres et mêmes subaquatiques. Etant donné que leur développement s'est effectué au cours de différentes périodes et dans différents domaines, il n'est pas surprenant qu'ils soient référencés suivant plusieurs terminologies, à partir d'abréviations essentiellement anglo-saxonnes (ROV, RPV, UAV,UGV). Cependant, quels que soit les types de système, on leur retrouve toujours beaucoup de caractéristiques et de traits communs [3].

I.3.1 Engins aériens

Les appareils aériens sans pilote existent depuis le début des années 1900. Les premiers engins aériens téléopérés étaient les drones, aussi appelés Véhicules Pilotés à distance (RPV, pour Remotely Piloted Vehicles). Ils étaient utilisés pour l'entraînement anti-appareils aériens. Des drones tels que le RP-5 de l'armée américaine (1941) volaient grâce à un plan de vol préprogrammé, bien qu'il puisse être occasionnellement piloté par contrôle radio. Durant les années soixante, la NASA a mis en place un programme de développement de Véhicules de recherche Pilotés à Distance (RPRV, pour Remotely Piloted Research Vehicles). A la différence des drones, qui étaient généralement de taille réduite, les RPRV étaient des avions habités, modifiés pour être contrôlés à distance.

Aujourd'hui, les Véhicules Aériens Inhabités (UAV, pour Unmanned Air Vehicles) sont les engins téléopérés les plus communément utilisés. Les UAV modernes sont pilotés à distance grâce à une liaison radio ou satellite et sont utilisés pour des tâches telles que la reconnaissance ou l'identification de cibles. Egalement, différents UAV ont été utilisés pour le combat, tel que l'US Navy Pioneer et l'US Air Force Predator (figure I.3).



Figure I.3 : L'UAV Predator.

L'UAV Predator transporte une grande variété de capteurs (EO, IR, SAR) il est piloté par un opérateur au sol via une liaison radio ou satellite. Il peut exécuter un plan de vol de manière totalement autonome une fois celui-ci implémenté à bord.

I.3.2 Engins sous-marins

Les Véhicules Commandés à Distance (ROV, pour Remotely Operated Vehicle) représentent le plus grand marché de ce type d'appareil de téléoopération (figure I.4). Les ROV sont des submersibles inhabités qui sont généralement attachés à la surface d'un bateau. Les ROV existent depuis le début du 20^{ème} siècle, mais c'est le succès du Véhicule de récupération Sous-marine Contrôlé par CCURV I (CCURV I, pour Cable Controlled Underwater Recovery Vehicle I), utilisé par l'US Navy en 1966 pour récupérer une bombe atomique, et la perche dans l'exploitation sous-marine des hydrocarbures qui ont lancé leur développement commercial. Aujourd'hui, les ROV sont utilisés sur une large gamme de tâches (surveillance, inspection, océanographie...) et prennent de plus en plus la place des submersibles habités ou autres scaphandriers.

Enfin, bien que beaucoup de ROV soit contrôlés par joysticks et à travers des moniteurs vidéo, quelques systèmes récents incorporent des fonctions autonomes telles que le maintien de position et le suivi de trajectoires.

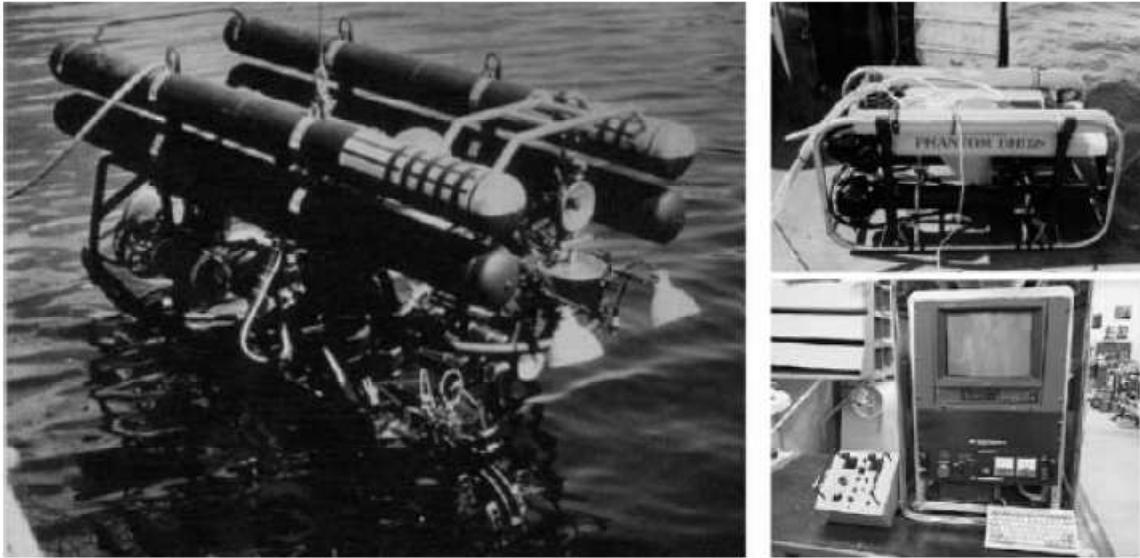
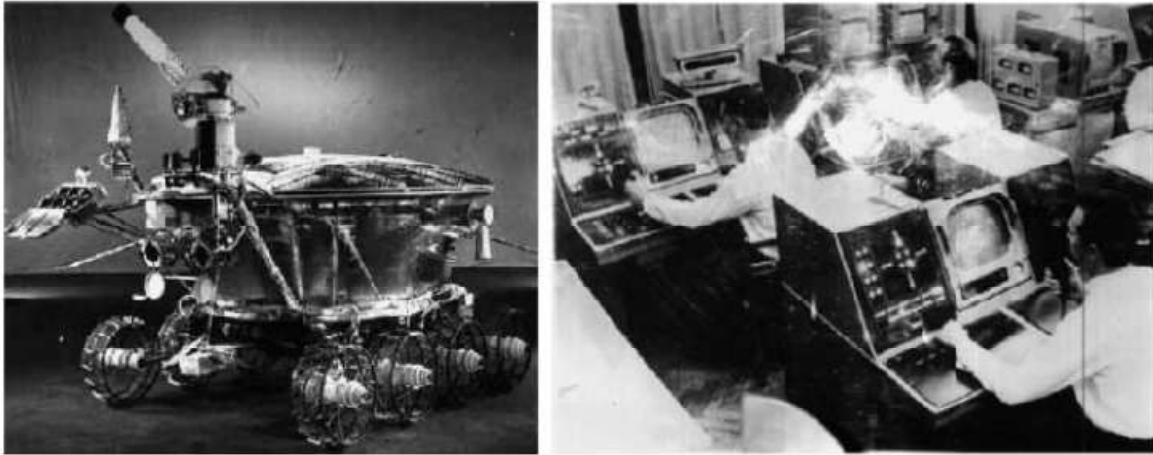


Figure I.4 : Exemples de véhicules sous-marins commandés à distance de type ROV

I.3.3 Engins terrestres

Les véhicules terrestres sont communément classifiés en trois catégories : les rôdeurs d'explorations, les Véhicules Terrestres Inhabités (UGV, pour Unmanned Ground Vehicles), et ceux des missions périlleuses. Les rôdeurs d'exploration sont des engins terrestres conçus pour effectuer à distance des tâches scientifiques, telles que sonder les sols et prélever des échantillons. Le premier rôdeur d'exploration fut le Lunokhods soviétique (figure I.5) qui a exploré la lune au début des années 70. Depuis, la NASA a produit de nombreux véhicules de recherche (la série des Rocky, Dantes I/II, Noma) et a fait atterrir le rôdeur Sojourner sur Mars.

Les premiers UGV ont d'abord été utilisés pour des tâches nécessitant une navigation à distance telle que la reconnaissance ou la surveillance. Au début des années 80, le Centre des Systèmes Océanique Naval (NOSC) a développé le Buggy de Dune Téléopéré (TODB, pour TeleOperated Dune Buggy) et le Véhicule Téléopéré (TOV, pour TeleOperated Vehicle) (figure I.5). Ces deux appareils étaient pilotés par copie de commande et à travers une caméra vidéo à vision stéréoscopique. Durant les années 90, le programme Tactical UGV a produit plusieurs véhicules pouvant être conduits soit par contrôle direct soit par simple spécification de points de passage sur le trajet menant à la cible.



· **Figure I.5 :** Le Lunokhod1.

I.3.4 Domaine médical

On peut également rencontrer des engins de téléopération qui sont spécifiquement employés pour la télémanipulation. Dans ce type de télérobotique, les avancées les plus remarquables ont été réalisées dans le domaine médical (figure I.6). Et plus spécifiquement dans celui de la chirurgie. Pour le moment, deux systèmes de robots téléchirurgicaux sont commercialement disponibles : le « Da Vinci » (Intuitive Surgical, Inc) et le Zeus (Computer Motion, Inc)[4]. Les deux systèmes présentent une même architecture de base : deux bras contrôlent les instruments chirurgicaux et un troisième guide la caméra endoscopique. Le chirurgien manipule les bras robotiques à travers une console au niveau de laquelle il peut superviser à distance le déroulement de l'opération.



Figure I.6 : robot téléchirurgical

I.3.5 Assistance à l'handicap

Un champ d'application de la téléopération qui est resté jusqu'alors encore inexploité est celui de l'assistance aux personnes handicapées. C'est pourquoi a été lancé le projet ARPH (Assistance Robotisée pour Personnes Handicapées) mené en collaboration entre le Laboratoire Systèmes Complexes (LSC) de l'Université d'Evry et l'Association Française de lutte contre les Myopathies (AFM). L'objectif du programme ARPH est d'embarquer un bras manipulateur (MANUS) sur une base mobile autonome (figure I.7) pour donner aux personnes handicapées la possibilité de réaliser seules des tâches de la vie quotidienne. Afin de rendre un tel projet viable, ce travail doit répondre à au moins deux nécessités. La première est une écoute des besoins que revendiquent les personnes handicapées. En particulier, celles-ci ne désirent pas que le robot les assiste entièrement mais qu'au contraire, elles restent dans la mesure de leurs capacités les plus

actives possibles. La seconde contrainte est d'ordre financière. En effet, le coût de la recherche dans des domaines de hautes technologies tels qu'en téléopération peut devenir rapidement très élevé. Aussi, si l'on veut que ce système soit accessible à la plus grande majorité des personnes concernées, celui-ci doit répondre au plus faible coût financier possible [5].



Figure I.7 : Le robot ARPH

Le robot ARPH est composé d'une plate-forme mobile sur laquelle est embarqué un bras manipulateur. Son but est d'augmenter l'autonomie des personnes à mobilité réduite.

I.4 Interfaces haptiques

Nous pouvons distinguer deux familles d'interfaces haptiques. Les premières, appelées interfaces tactiles, vont exciter des capteurs sensoriels situés sous la peau et principalement au niveau des mains. Elles vont transmettre des sensations de rugosité, de vibration ou de glissement. Comme exemple, certains GSM à écran tactile produisent de petites vibrations pour simuler le contact d'une touche.

Les interfaces kinesthésiques, par contre, vont produire des forces qui vont s'opposer au mouvement de l'utilisateur pour ainsi lui transmettre des sensations de raideurs, de formes et de poids. Notre travail s'inscrit dans le développement de systèmes kinesthésiques.

Le développement des interfaces haptiques trouve son origine dans les manipulateurs maître/esclave développés pour l'industrie nucléaire dans les années 50. Dans un premier temps, ces systèmes possédaient des liens mécaniques permettant à l'esclave de reproduire en Parallèle les mouvements du maître [6].

Cependant, cela nécessitait une grande proximité entre les appareils et limitait-la capacité de l'esclave à manipuler des charges lourdes. Goertz et Thompson ont alors développé, à l'Argonne National Laboratory, un système maître/esclave, en incorporant de chaque côté des

actionneurs et en remplaçant le lien mécanique par un lien électrique pour échanger les mesures de position et de force de cette manière, l'esclave était commandé à distance et l'utilisateur pouvait ressentir, à travers les moteurs du maître (l'interface haptique), les efforts mesurés sur l'esclave. Il s'agit du premier système de téléopération haptique, ou à retour d'effort. Outre la manipulation d'éléments radioactifs, des applications actuelles de ce type de système sont la commande de bras robotisés dans les environnements hostiles (fonds sous-marins, spatial), la chirurgie mini-invasive [1], et la nano manipulation [2][3].

En plus de l'apport du retour de force, un aspect important pour ces applications est la capacité du système à transformer et à mettre à l'échelle les signaux de position et de force entre le maître et l'esclave. A partir des années 90, à côté de la téléopération, l'augmentation des capacités de calcul des ordinateurs a permis l'émergence de la réalité virtuelle haptique.

L'interface haptique est alors reliée à une simulation générée par un ordinateur qui permet à l'utilisateur d'interagir avec des objets virtuels.

I.5 Systèmes à retour haptique

Le mot haptique signifie sentir par le toucher et distingue généralement deux modalités sensorielles :

I.5.1 Sens tactile

Il fournit des informations concernant le contact de la peau avec des objets de l'environnement virtuel (pression, température, vibration, etc....).

I.5.2 Kinesthésie

Elle comprend la perception des mouvements propres de notre corps et des efforts Musculaires.

Un système à retour haptique est constitué de trois parties essentielles :

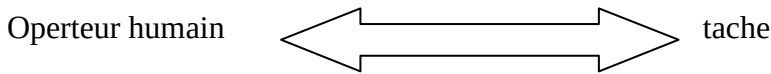
- L'opérateur humain : il constitue l'élément central du système.
- L'interface haptique : qui comporte à son tour trois modules qui sont l'interface matérielle ou dispositif haptique, l'interface physique c'est le système qui permet d'interpréter la dynamique de l'environnement agissant sur la partie opérante en milieu hostile (détection de collision, calcul des réponses aux collisions).
- L'interface de liaison ou de commande : qui permet de retransmettre les efforts agissant sur la partie opérante.

I.6 Structure du système de téléopération bilatérale

Un système de téléopération bilatérale est un système qui permet de réaliser une

Généralités sur la Téléoopération

tâche à distance.



Généralement composé de trois blocs principaux qui sont :

- **Le site maître** : ce bloc consiste à un opérateur humain et un contrôleur maître, l'opérateur humain celui qui manipule la manette pour mettre en marche à distance la tâche que fait l'esclave
- **Le site esclave** : ce bloc consiste à un contrôleur esclave et un bras manipulateur qui contacte un environnement aléatoire (libre, soft ou hard), le contrôleur esclave permet de transférer les données du maître vers le bras manipulateur, et aussi la force de retour de l'environnement vers le site maître.
- **Le canal de communication** : c'est le canal de communication entre les deux sites, dans notre cas c'est la carte Arduino qui assure le transfert des données de la part de la manette de commande vers le vérin électrique.



Figure I.8 : Schéma présente les différents blocs du système de téléoopération complète

I.7 Systèmes à retour d'effort

I.7.1 Introduction

La technique du retour d'effort provient à l'origine du domaine de la Téléoopération.

La Télémnipulation permet de prolonger la dextérité de l'homme à distance. La téléoopération désigne l'ensemble des principes et techniques qui permettent à l'opérateur humain d'exécuter une tâche à distance [7], au moyen d'un système robotique d'intervention, contrôlé à partir d'une station de commande, à travers un canal de communication. En se basant sur des retours visuels, l'opérateur exécute les gestes de manipulation,

De son côté, la Réalité Virtuelle met l'accent sur les fonctions d'immersion et d'interactivité en environnement simulé [8]. Toutefois les systèmes actuels, basés sur des modèles purement géométriques et des restitutions exclusivement visuelles, souffrent de

limitations importantes et tout particulièrement le manque de perception au contact avec l'environnement simulé. L'utilisation d'interfaces haptiques apporte un complément indispensable, pour la boucle perception-action, et améliore grandement les qualités de transparence, d'immersion et d'ergonomie.

Le terme haptique est utilisé pour qualifier les fonctions qui englobent le retour d'effort et le toucher.

I.7.2 Fonctions du retour d'effort

Le retour d'effort résulte de l'interaction position-force entre le geste de l'opérateur et l'environnement virtuel simulé. L'opérateur perçoit les forces d'interactions synthétiques par l'intermédiaire d'un périphérique spécifique. Le fonctionnement recherché comprend plusieurs modes :

➤ modes limites

- mode isotonique (ou contrôle uniquement en position) : l'opérateur effectue un geste librement sans retour d'effort, avec force de trainage minimale.
- mode isométrique (ou contrôle en force) : le dispositif étant asservi à position fixe et retour d'effort maximal, toute action de l'opérateur est interprétée comme une commande en force.

➤ Fonctions et modes opérationnels

- fonctions de transfert très variées, incluant : inertie, raideur, amortisseur programmable, etc.
- simulation de forces à distance : attraction-répulsion, champs de potentiel...
- simulation de suivi de surface rigide.
- simulation de forces dues aux frottements.
- simulation de forces dues à un contact unilatéral.
- simulation de forces dues à une liaison bilatérale (prismatique, rotoïde, rotule, etc.).
- simulation de choc.
- simulation de textures

I.7.3 Systèmes de téléopérations sans retour d'effort

Les systèmes de télé opération avec retour d'effort présentent tous la même propriété, c'est l'opérateur, dans la boucle, qui gère les forces de contact. Si ces solutions sont idéales en théorie, en pratique le retour d'effort n'a plus aucun intérêt lorsque des retards de transmission sont présents dans la boucle.

Dans les systèmes de téléopérations sans retour d'efforts, la gestion des forces de contact est faite localement. Les problèmes d'instabilité ne se posent donc plus, même si des retards de transmission sont présents. L'opérateur n'intervient plus dans la boucle de contrôle d'effort, il

Généralités sur la Téléopération

envoie simplement des consignes qui sont appliquées par le robot esclave en fonctions de ses interactions avec l'environnement. (Figure I.9).

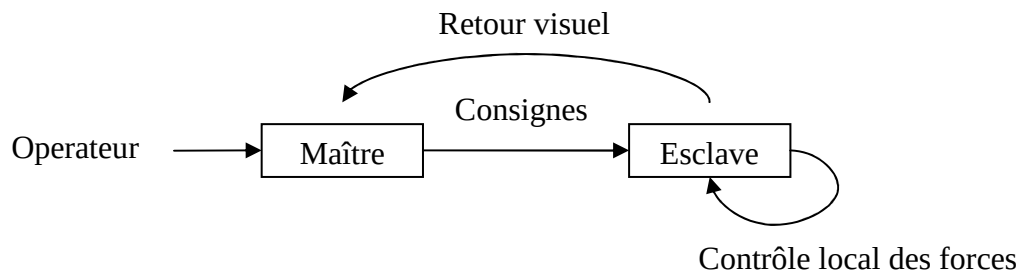


Figure I.9 : Téléopération sans retour d'effort

I.8 Conclusion

Dans ce chapitre on a essayé de donner un aperçu sur les systèmes de téléopération, les applications multiples de ces systèmes, ainsi que les systèmes à retour d'effort et sans retour d'efforts.

Les systèmes télé opérants ont une application très vaste car ils permettent à l'homme d'opérer sur des milieux qui étaient avant inaccessibles pour des raisons d'hostilités notamment les espace radioactifs, aérospatiaux et fonds marins. Ou bien pour des raisons de maniabilités à échelle réduites comme la chirurgie mini invasive, manipulation biologique de micro systèmes etc.

Dans notre travail on se basera sur le retour de force générée par un capteur de force transmis vers un moteur à courant continue doté d'un électroaimant et tout ça via la carte d'acquisition ARDUINO.

Chapitre II

II.1 Introduction

Le projet Arduino est né en hiver 2005, suite à la requête de certains étudiants en Robotique de l'école de Design à Ivrea en Italie, qui se plaignent envers leur Enseignant appelé Banzi, de ne pas avoir accès à des solutions bas prix pour accomplir leurs projets de robotique. Par la suite, l'enseignant Banzi a contacté David Cuartielles, qui est un ingénieur Espagnol spécialisé dans les microcontrôleurs pour créer leur propre carte en embarquant dans leur histoire un des étudiants de Banni, David Mellis qui sera chargé de créer le langage de programmation allant avec la carte. En deux jours David écrira le code! Trois jours de plus la carte était créée. Ils décidèrent de l'appeler Arduino (un bar fréquenté par les élèves à proximité de l'école)[9].

Il devient un hit tout de suite auprès des étudiants. Tout le monde arrive à en faire quelque chose très rapidement sans même avoir de connaissances particulières ni en électronique ni en informatique: réponse à des capteurs, faire clignoter des leds, contrôler des moteurs... Ils publient les schémas, en investissant 3000 euros pour créer les premiers lots de cartes:

Les 50 premières partent directement à des élèves de l'école. En 2006 ,5 000 cartes vendues. En 2007 plus de 30 000, En 2011 plus de 120 000, sans compter les clones.

Pour la réalisation de notre commande, nous avons utilisé une carte Arduino afin d'assurer la communication entre la partie commande (ordinateur) et le système.



II. 2 La carte d'acquisition

II.2.1 Généralités de la carte Arduino

C'est une plate-forme open-source d'électronique programmée qui est basée sur une simple carte à microcontrôleur (de la famille AVR), et un logiciel, véritable environnement du développement intégré, pour écrire, compiler et transférer le programme vers la carte à microcontrôleur.

Arduino peut être utilisé pour développer des objets interactifs, pouvant recevoir des entrées d'une grande variété d'interrupteurs ou de capteurs, et pouvant contrôler une grande variété de lumières, moteurs ou toutes autres sorties matérielles. Les projets Arduino peuvent être autonomes, comme ils peuvent communiquer avec d'autres logiciels installés sur l'ordinateur(tels que Flash, Processing ou MaxMSP, Matlab)[9].

Le langage de programmation Arduino est une implémentation de Writing, qui est une plateforme de développement similaire, à celles basées sur l'environnement multimédia de programmation Processing.

Ces cartes sont faites à base d'une interface entrée/sortie simple et d'un environnement de développement proche du langage C. En outre, elle contient tous les outils nécessaires pour piloter le microcontrôleur, une fois connectée à un ordinateur avec un câble USB[10].

II.2.2 Caractéristique de la carte Arduino

Parmi les caractéristiques les plus importantes de la carte Arduino, nous avons retenu les suivantes :

- **pas cher:** les cartes Arduino sont relativement peu coûteuses comparativement aux autres plateformes.
- **multiplateforme:** le logiciel Arduino, écrit en Java, tourne sous les systèmes d'exploitation Windows, Macintosh et Linux. La plupart des systèmes à microcontrôleurs sont limités à Windows.
- **un environnement de programmation clair et simple :** l'environnement de programmation Arduino est facile à utiliser pour les débutants, tout en étant assez flexible pour que les utilisateurs avancés puissent en tirer profit également.
- **logiciel Open Source est extensible :** le logiciel Arduino et le langage Arduino sont publiés sous licence open source, qui est disponible et peut être complétée par des programmeurs expérimentés.
- **matériel Open source et extensible:** les cartes Arduino sont basées sur les microcontrôleurs Atmel ATMEGA2560, ATMEGA 168, ATMEGA 328, etc. Les schémas des modules sont publiés sous une licence Créative Commons, et les concepteurs de circuits expérimentés peuvent réaliser leur propre version des cartes Arduino, en les complétant et en les améliorant.
 - . La carte Arduino est capable de stocker un programme et de le faire exécuter.
 - . La carte reçoit des informations analogiques ou numériques sur ses entrées et génère des informations analogiques ou numériques.
 - . Le microcontrôleur traitera ces informations et les transmettra vers les sorties numériques.
 - . Récupère les données des capteurs en vue de les transmettre à l'interface de commande (pc) et traduire les instructions pour faire fonctionner les actionneurs.

II.3 Architecture de la carte

La figure suivante illustre le schéma synoptique de la carte Arduino.

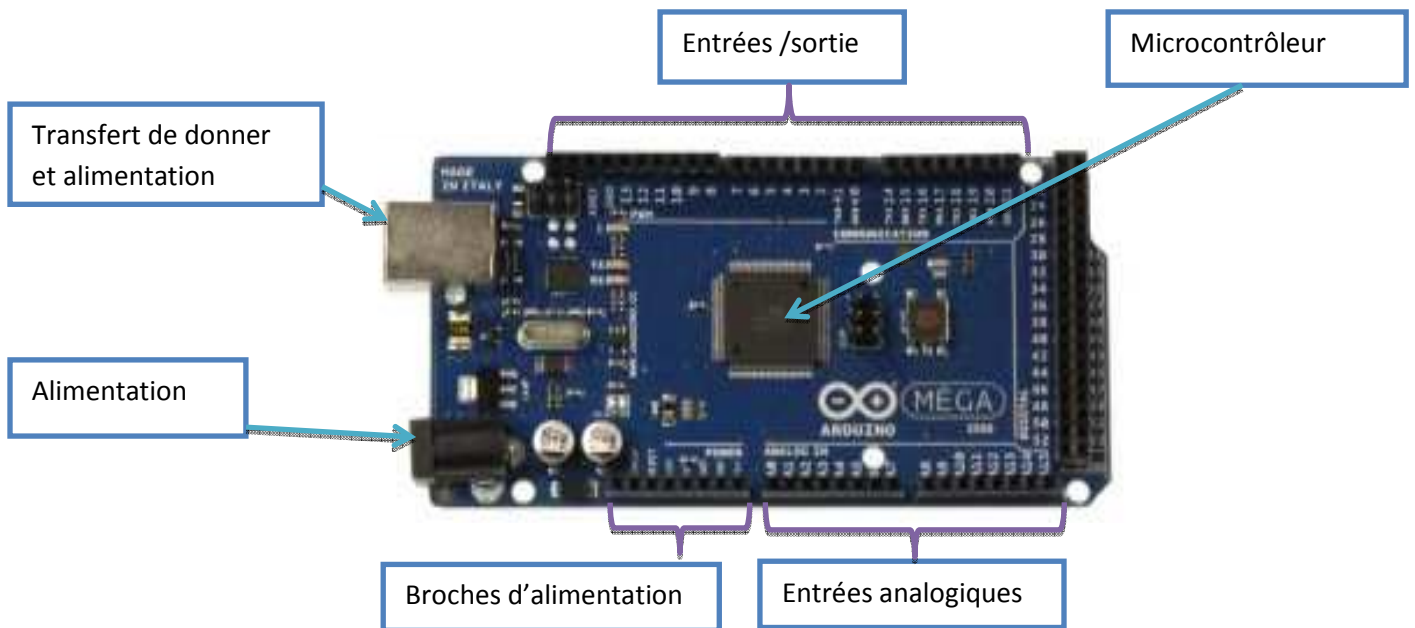


Figure II.1 : Architecture de la carte Arduino

II.3.1 Le microcontrôleur

C'est le cerveau de la carte, permettant de recevoir le programme créé et stocké dans sa mémoire, puis l'exécuter. Grâce aux instructions de ce programme, il peut accomplir des tâches souhaitées, qui peuvent être : faire clignoter une LED, afficher des caractères sur un écran, commander des moteurs comme dans notre système, envoyer des données à un ordinateur...etc.

II.3.1.1 Caractéristiques du microcontrôleur ATMEGA 2560

- 135 instructions puissantes, la plupart d'exécution simple de rythme.
- 32x8 registres d'usage universel de fonctionnement.
- Opération entièrement statique.
- Multiplicateur de cycle de Sur-Morceau de Résistance.
- Mémoires non-volatiles de programme et de données.
- Bytes 64K/128K/256K de flash Individu-Programmable de Dans-Système.
- Résistance : 10.000 écrire /cycles d'effacement.
- 4K Bytes EEPROM.
- Serrure de programmation pour la sécurité de logiciel
- Quatre canaux à 8 bits de PWM.
- Interface série à 2 fils orienté vers le byte.
- Puissance sur la remise et la détection programmable d'arrêt partiel.

ARDUINO

La figure ci-dessous montre la structure interne du microcontrôleur ATMEGA 2560

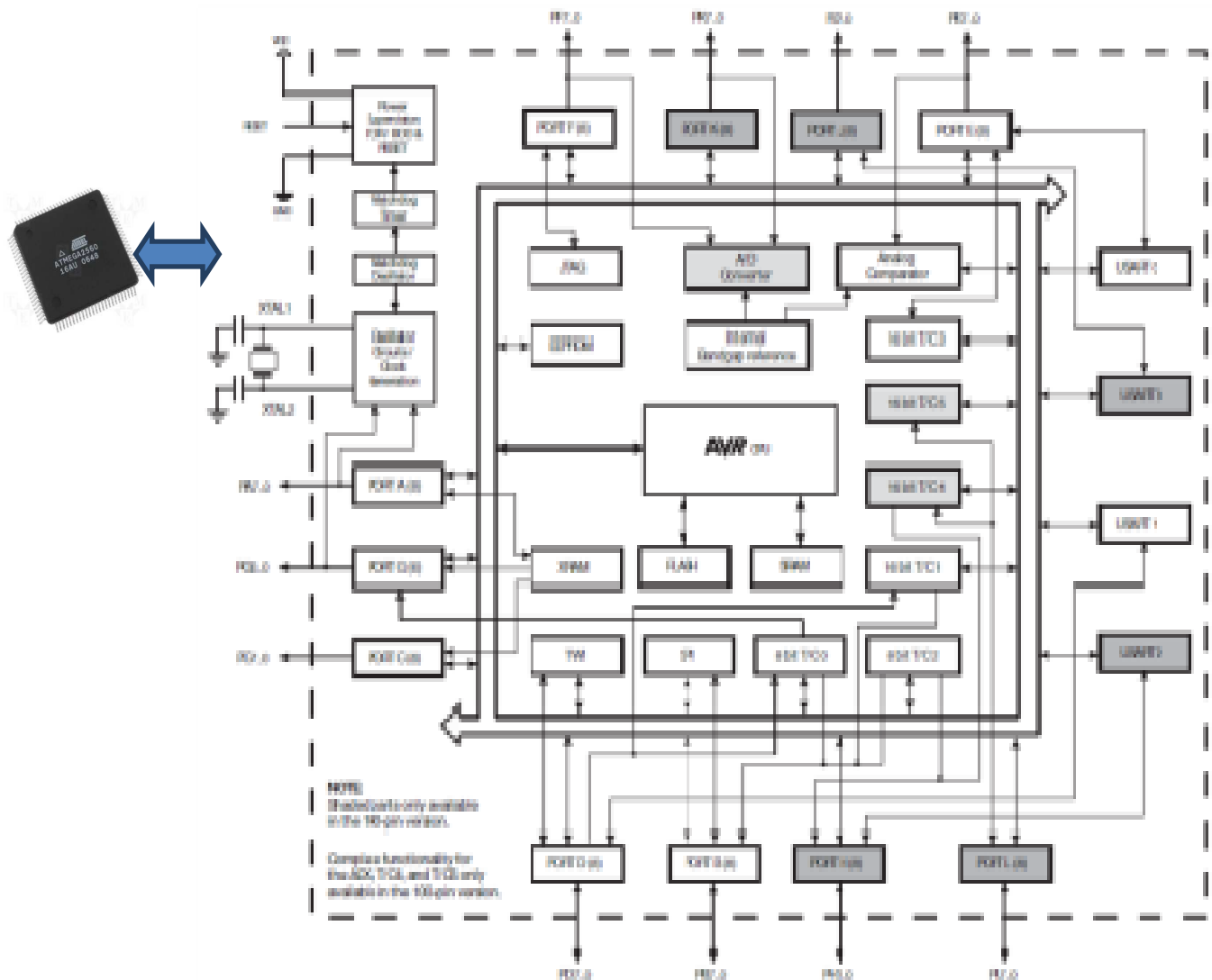


Figure II.2: Architecture du microcontrôleur ATMEGA 2560

II.3.2 Les entrées-sorties de la carte

La carte Arduino possède 15 entrées analogiques, 54 entrées / sorties numériques dont les pins de (1 à 13) peuvent être utilisés comme des entrées/sorties analogiques.

- Les pins utilisés en numérique (PWM) ont une sortie binaire soit (0 logique qui correspond à l'état bas du pin ou 0V) ou (1 logique qui correspond à l'état haut du pin ou 5V) ce qui amène le fonctionnement des pins on mode tout ou rien.
- Les pins utilisés en analogique ont une sortie de valeur (0 à 255)

II.3.3 Mémoire

Le ATmega2560 a 128 Ko de mémoire flash pour stocker le code (dont 4 Ko est utilisée pour le boot loader), 8 Ko de SRAM et 4 Ko de mémoire EEPROM (qui peuvent être lues et écrites avec la bibliothèque EEPROM)

II.3.4 L'alimentation

L'alimentation qui assure la distribution d'énergie aux différents composants de la carte Arduino, peut être effectuée via une connexion USB ou une alimentation externe. La source de courant est sélectionnée automatiquement.

L'alimentation externe (non USB) peut provenir de piles ou d'un adaptateur CA/CC qui peut être connecté par une fiche positive centrale de 2,1 mm dans l'alimentation de la carte. Les câbles de l'accu peuvent être insérés dans les prises de terre et de tension d'alimentation du microcontrôleur.

La carte peut fonctionner sur une alimentation externe de 6 à 20 volts. Si moins de 7 volts sont fournis, la broche 5 V peut éventuellement fournir moins de 5 volts, ainsi la carte peut être instable. Si plus de 12 V sont utilisés, le régulateur de tension surchauffe et abîme la carte. Cependant, la tension recommandée varie entre 7 et 12 volts.

Les broches d'alimentation sont les suivantes :

- Tension d'entrée : la tension d'entrée de la carte Arduino est quand une alimentation externe est utilisée (en opposition aux 5 volts de la connexion USB ou d'autres sources de courant régulées). On peut fournir une tension par cette prise ou, si l'alimentation est effectuée par un câble d'alimentation, y accéder via cette prise.
- 5 V : cette broche fournit une tension régulée de 5V. Ainsi, la carte peut être alimentée par le câble d'alimentation en courant continu, le connecteur USB (5V) ou la prise de terre sur la carte (7-12 V). Néanmoins, alimenter la tension par les broches 5 V ou 3,3 V contourne le régulateur et peut endommager la carte.

Une fois le programme chargé, on peut débrancher le cordon USB et connecter la carte soit à une pile, soit à un transformateur.

II.3.5 Visualisation

Les trois "points blancs" entourés en rouge sont en fait des LED dont la taille est de l'ordre du millimètre. Ces LED servent à deux choses :

- . Celle tout en haut du cadre : elle est connectée à une broche du microcontrôleur qui peut servir pour tester le matériel. Quand on branche la carte au PC, elle clignote quelques secondes.
- . Les deux LED du bas du cadre : servent à visualiser l'activité sur la voie série (une pour l'émission et l'autre pour la réception). Le téléchargement du programme dans le microcontrôleur se faisant par cette voie, on peut les voir clignoter lors du chargement.

II.3.6 La connectique

La carte Arduino ne possédant pas de composants (résistances, diodes, moteurs...) qui peuvent être utilisés pour un programme, mis à part la LED connectée à la broche 13 du microcontrôleur, il est nécessaire de les rajouter. Mais pour ce faire, il faut les connecter à la carte. C'est là qu'intervient la connectique de la carte.

Sur les cartes Arduino et sur beaucoup de cartes compatibles Arduino, les connecteurs se trouvent au même endroit. Ceci permet de fixer des cartes d'extension, appelée " Shield". Cette connectique est importante et a un brochage qu'il faudra respecter. C'est avec cette connectique que la carte est "extensible", car on peut y brancher tous types de montages et modules.

Par exemple, la carte Arduino peut être étendue avec des shields, comme le «Shield Ethernet» qui permet de connecter cette dernière à internet.

II.3.7 Carte d'extension « SHIELD »

La carte EASYCONI permet de connecter facilement 20 entrées-sorties à l'interface Arduino Méga. Les embases jacks stéréo 2,5mm servent à la connectique avec les cordons et les cartes I/O présentées. Extensible selon nos besoins, grâce à ces connecteurs stockables, et l'adjonction d'une carte EASYCON2 (18 entrées supplémentaires).

Deux kits optionnels de composants permettront d'étendre les capacités du shield en lui ajoutant :

- une commande de deux moteurs à courant continu (contrôle de la vitesse et de la direction).
- une ou deux "Banks" de mémoire EEPROM externe pour le stockage des projets autonomes.

II.4 Architecture SOFTWARE de la carte

➤ Choisir la carte que l'on va programmer

Le nom de notre carte est indiqué sur elle. Pour nous, il s'agit de la carte "Mega2560". Allez dans le menu, "Tools" ("outils" en français) puis dans "Board " ("carte" en français). Vérifiez que c'est bien le nom "Arduino Mega2560" qui est coché.

ARDUINO

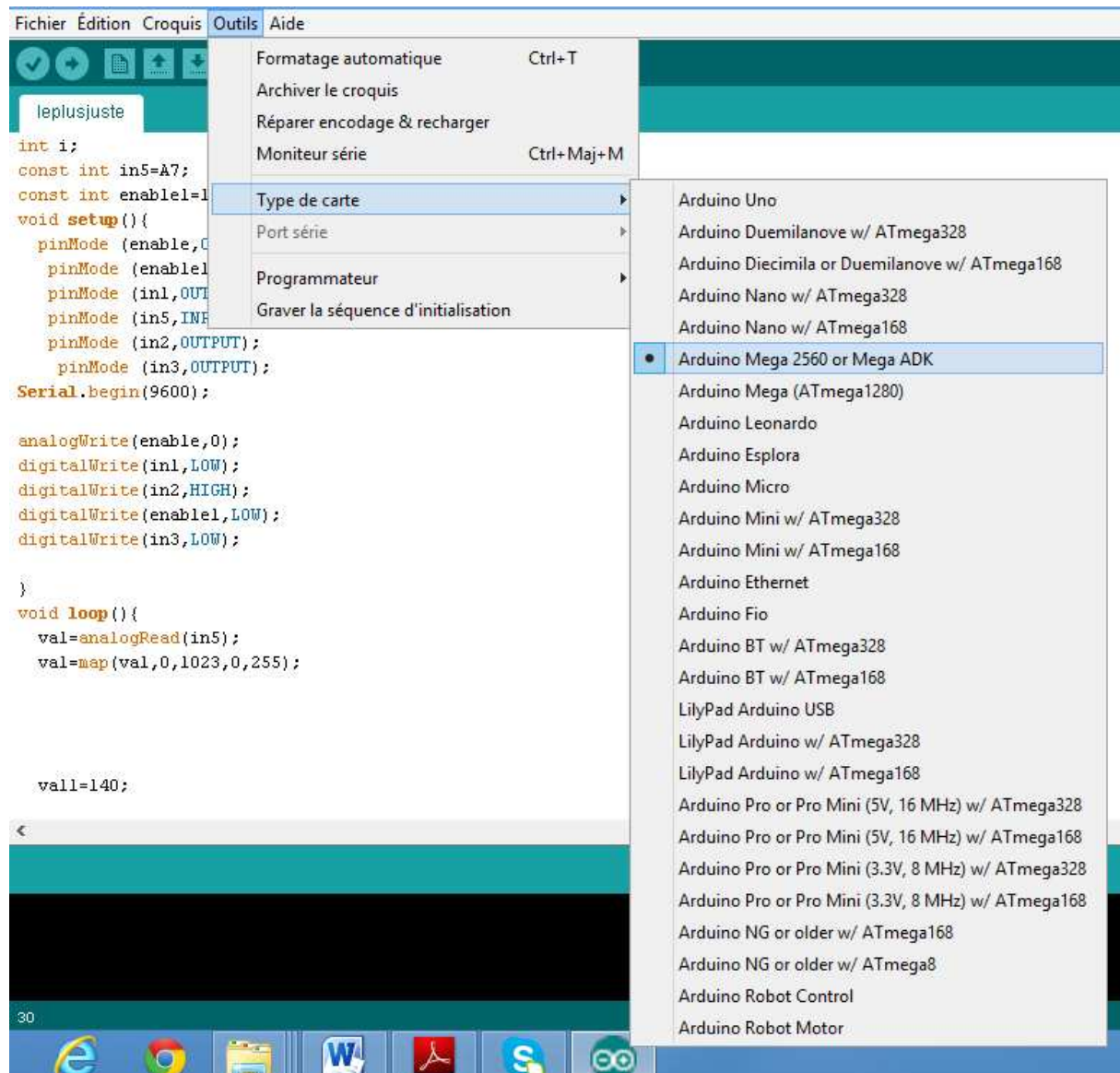


Figure II.3 : Choix de la carte Arduino

➤ Choisir le port de connexion de la carte

Nous allons dans le menu Tools, puis Serial port. Là, nous choisissons le port COMX, X étant le numéro du port qui est affiché. Ne choisissons pas COM1 car il n'est quasiment jamais connecté à la carte. Dans notre cas, il s'agit de COM19 :

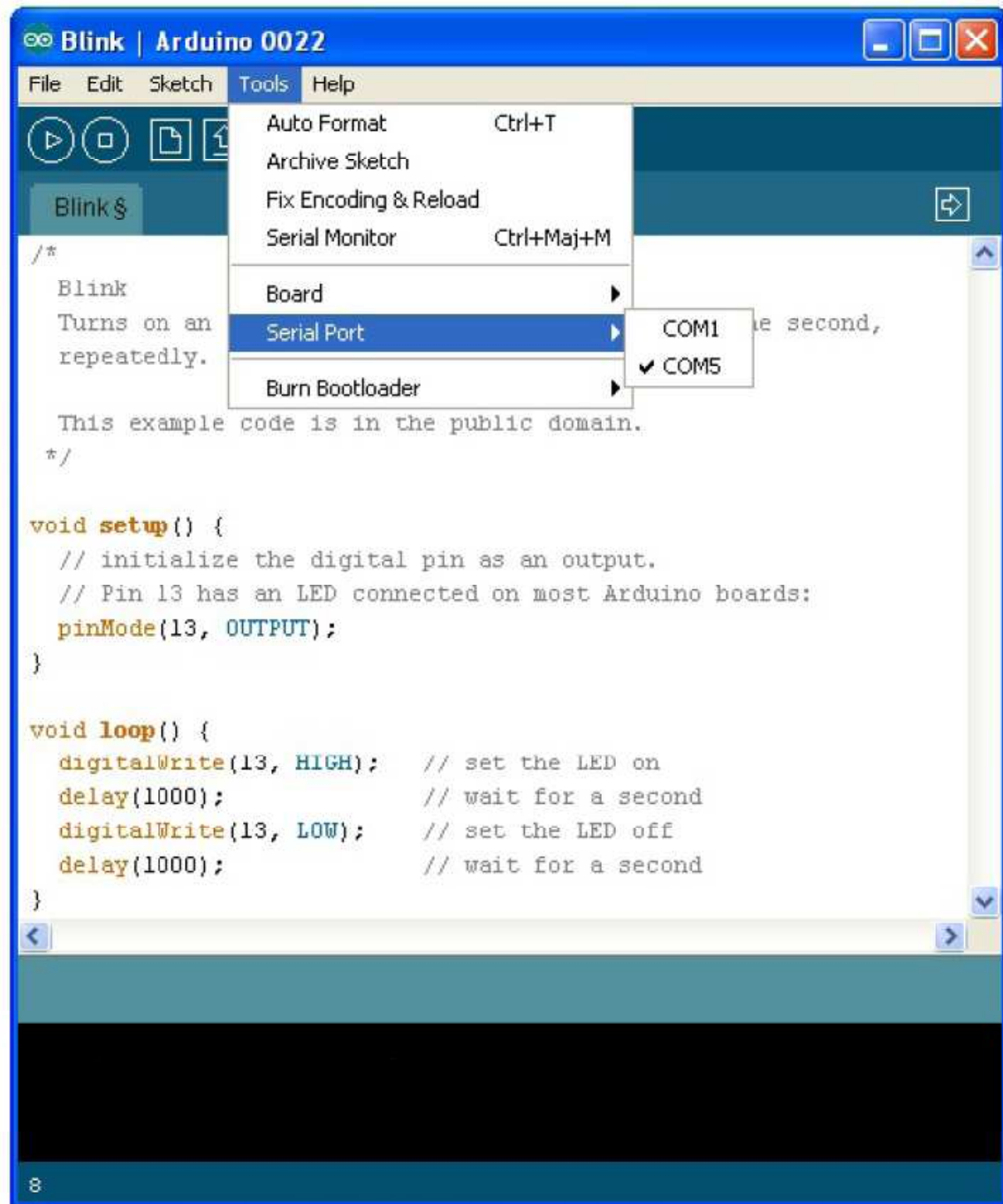


Figure II.4 : Choix du port de la connexion de la carte

- Et enfin, il va falloir envoyer le programme dans la carte. Pour ce faire, il suffit de cliquer sur le bouton Upload ou "Télécharger" en Français, en jaune-orangé sur la (figureII.5).

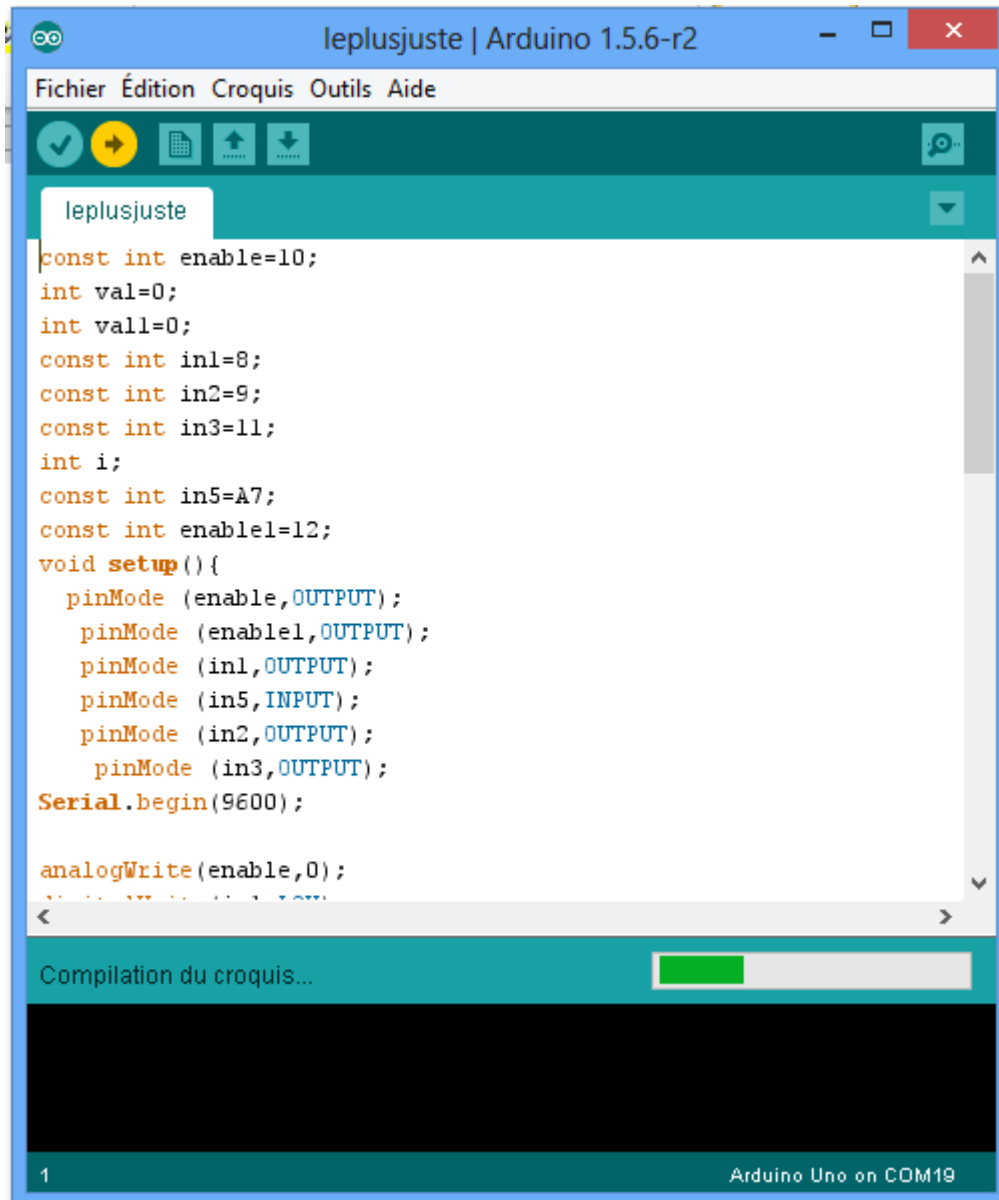


Figure II.5 : envoi du programme

En bas dans l'image, on voit le texte : "Compilation du croquis...", cela signifie que le logiciel est en train d'envoyer le programme dans la carte. Une fois qu'il a fini, il affiche un autre message "Téléversement terminé". On doit avoir une LED sur la carte qui clignote, Si on n'obtient pas ce message mais plutôt un truc en rouge, pas d'inquiétude, le matériel n'est pas forcément défectueux.

En effet, plusieurs erreurs sont possibles:

- l'IDE recompile avant d'envoyer le code, vérifier la présence d'erreur.
- La voie série est peut-être mal choisi, vérifier les branchements et le choix de la voie série.
- l'IDE est codé en JAVA, il peut-être capricieux et bouger de temps en temps (surtout avec la voie série...), réessayez l'envoi.

II.5 Logiciel

L'environnement de programmation Arduino (IDE en anglais) est une application écrite en Java inspirée du langage Processing.

L'IDE permet d'écrire, de modifier un programme et de le convertir en une série d'instructions compréhensibles pour la carte.

II.5.1 L'interface logicielle

Sur un ordinateur, le logiciel de programmation de la carte Arduino sert d'éditeur de code (langage proche de C), une fois le programme tapé ou modifié au clavier, il sera transféré et mémorisé dans la carte à travers la liaison USB, le câble USB alimente à la fois en énergie la carte et transporte aussi l'information.

II.5.2 Structure de logiciel

Le logiciel open source (Windows, linux ou mac) représenté par la figure ci-dessous fournit avec l'Arduino est un éditeur de texte qui permet :

- de programmer la carte en utilisant un langage simple proche du C.
- de communiquer avec la carte grâce au "terminal série" (fais apparaître des informations de la carte sur l'écran de l'ordinateur)

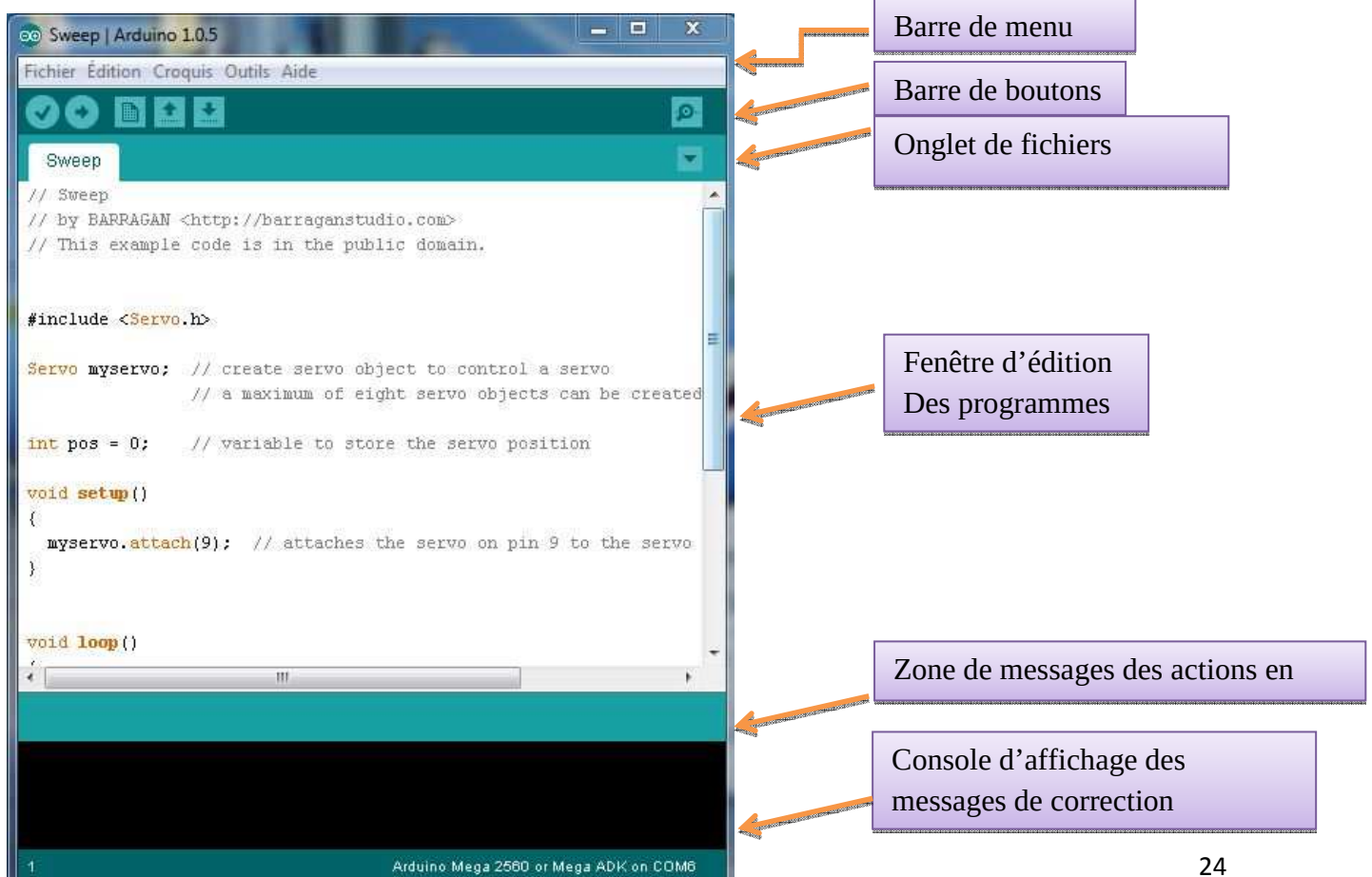


Figure II.6 : structure du logiciel

II.5.3 Structure de programme

Comme il est présenté sur l'interface du logiciel, le programme est lu par le microcontrôleur de haut vers le bas, une variable doit être déclarée avant qu'elle soit utilisée par une fonction.

La structure minimale est constituée :

- en tête déclaration des variables, des constantes, indication de l'utilisation de bibliothèques etc.
- un setup (initialisation), cette fonction est appelée dès l'exécution du programme. Elle a pour fonction d'initialiser les variables, indiquer les modes des broches, déclarer les bibliothèques, cette fonction s'exécute une seule fois, après chaque mise sous tension ou la réinitialisation de la carte Arduino.
- une loop (boucle) : cette partie est lue en boucle, c'est ici que les fonctions sont réalisées. En plus de cette structure minimale, on peut ajouter des « sous-programmes » ou « routines » qui peuvent être appelées à tout moment dans la boucle, très pratique pour réaliser des morceaux de codes répétitifs, et des « callbacks », ce sont des fonctions qui sont appelées automatiquement depuis une bibliothèque.

II.5.4 Utilisation de la carte Arduino comme périphérique d'entrée sortie pour Matlab

Cette solution consiste à utiliser la carte Arduino comme une interface d'entrées/sorties pour le logiciel Matlab, assurant le transfert de données entre l'interface de commande (Matlab) et la partie opérative (actionneurs).

Pré-charger un programme dans la carte Arduino afin que celle-ci fonctionne en serveur : Ce programme consiste à "écouter" les requêtes envoyées via la liaison série (USB) par Matlab et de répondre à ces requêtes en renvoyant l'état d'une entrée ou en modifiant l'état d'une sortie.

Ces mêmes entrées/sortie sont vues dans Matlab comme des entrées logiques ou analogiques (Utilisation du CAN) ou des sorties numériques (mode PWM). Cette communication peut être réalisée lorsqu' on installe les mises à jour nécessaires pour Matlab. Par conséquent on va avoir la bibliothèque illustrée par la figure (II.7).

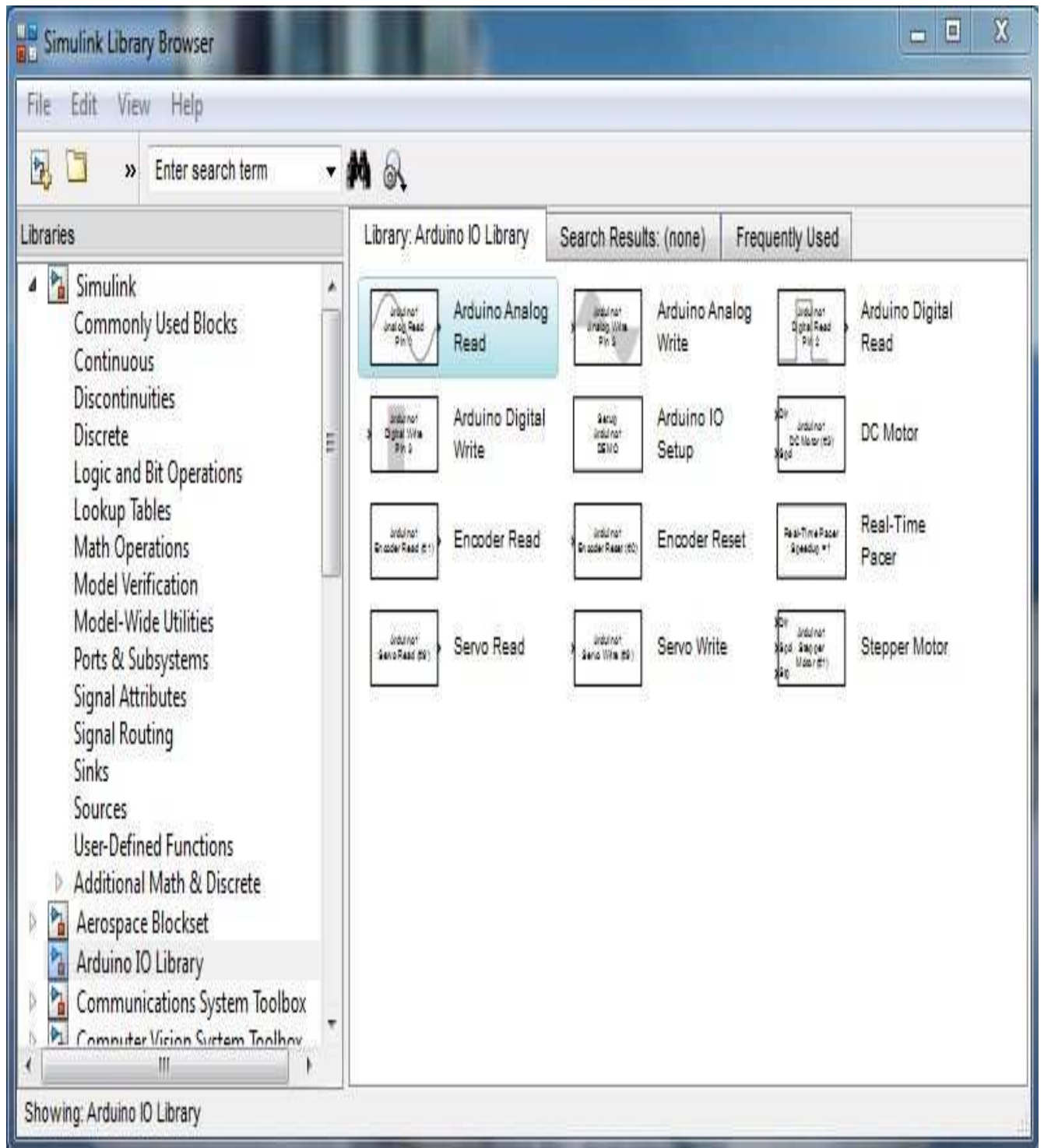


Figure II.7: bibliotheque Arduino IO

Ces blocs représentés sur la figure ci-dessus permettent d'utiliser simulink comme interface de commande et de gestion d'informations en mode connexion direct avec la carte.

II.6 Conclusion

Dans ce chapitre, notre étude s'est portée sur la présentation de la carte (Arduino), où nous avons commencé par un bref historique et quelques détails concernant la création et l'utilité de cette carte. Puis la structure matérielle de la carte Arduino a fait l'objet de la deuxième partie de ce chapitre que nous avons terminé par la présentation du logiciel et le langage de programmation ainsi que Matlab. Dans notre projet on programme notre système de téléopération avec le logiciel Arduino directement.

Chapitre III

III.1 Introduction

Notre réalisation s'inscrit dans le sciage d'opérations à un degré de liberté, en milieux hostile. En effet, car on commande un vérin en translation bidirectionnelle, grâce à une manette décrivant un mouvement de rotation avec transmission d'effort. Ainsi, une amplification d'effort peut être ajustée par modification du programme de gestion haptique que nous avons développé nous même sous langage Arduino.

En outre, réalisation, comporte un vérin électrique, un joystick couplé à un Motoréducteur, un embrayage électromagnétique et un capteur d'effort qui sera place sur l'organe opérant qui est le vérin électrique. La flexibilité de la carte d'acquisition Arduino nous permettra au gré de changer les performances du système haptique grâce au changement de quelques lignes du programme.

III.2 Présentation du projet de téléopération à ressentie d'effort

Comme tout système de télé opération haptique a pour objectif de permettre à son utilisateur de réaliser une tâche à distance, tout en ressentant les forces mises en jeu à l'endroit de la manipulation. Le principe de fonctionnement de notre système de télé opération est basé sur l'échange d'informations de force entre le maître illustré à la figure (III.1), qui est la télécommande de l'utilisateur, et l'esclave représenté à la figure (III.2), qui est le robot réalisant effectivement la tâche.

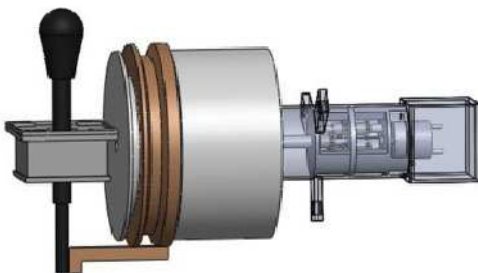


Figure III.1: Moteur à courant continue

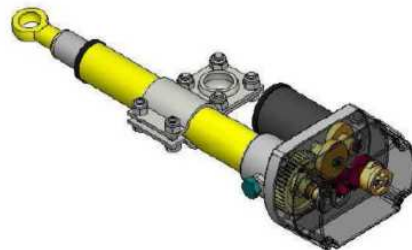


Figure III.2: Vérin électrique

Description du dispositif

La manette est utilisée comme interface haptique pour transmettre l'information sur la force mise en jeu à l'utilisateur dans un système de télé opération, en vue d'améliorer la qualité et les performances des manipulations.

A l'opposé des amplificateurs, le critère principal recherché est la capacité de l'interface à retransmettre le plus fidèlement possible l'information de force à l'utilisateur.

Elle doit également permettre les mouvements libres de la manette, bien qu'un niveau de puissance élevé puisse améliorer les performances. Néanmoins, il n'est pas nécessaire pour retransmettre la plupart des informations haptiques.

Par ailleurs, pour avoir un meilleur compte rendu haptique le système doit pouvoir contrer la force musculaire de l'opérateur.

Afin qu'il y ait un ressenti transmettant l'importance de la charge manipulée ainsi l'utilisateur aura une idée sur la charge qu'il est entrain de manipuler.

L'actionneur du système peut amplifier les capacités motrices de l'utilisateur en termes de puissance et d'endurance. Il peut alors pousser des charges importantes pendant de longues périodes ou sur de longues distances ce qui n'est pas possible pour un opérateur. Le besoin en puissance fait appel généralement à des technologies pneumatiques ou hydrauliques qui présentent des avantages relatifs. Par contre, la précision est moindre par rapport à un vérin équipé d'un servomoteur électrique.

Ainsi, les différentes parties de notre système de télé opération seront décrites dans la suite de ce chapitre.

III.3 Partie Maître

III.3.1 Introduction

Cette partie est constituée d'une manette à commande tout ou rien avec retour à ressort. Elle est équipée d'un bras de levier fixé en bas de la manette afin de pouvoir commander le retour d'effort comme l'illustre la figure suivante :

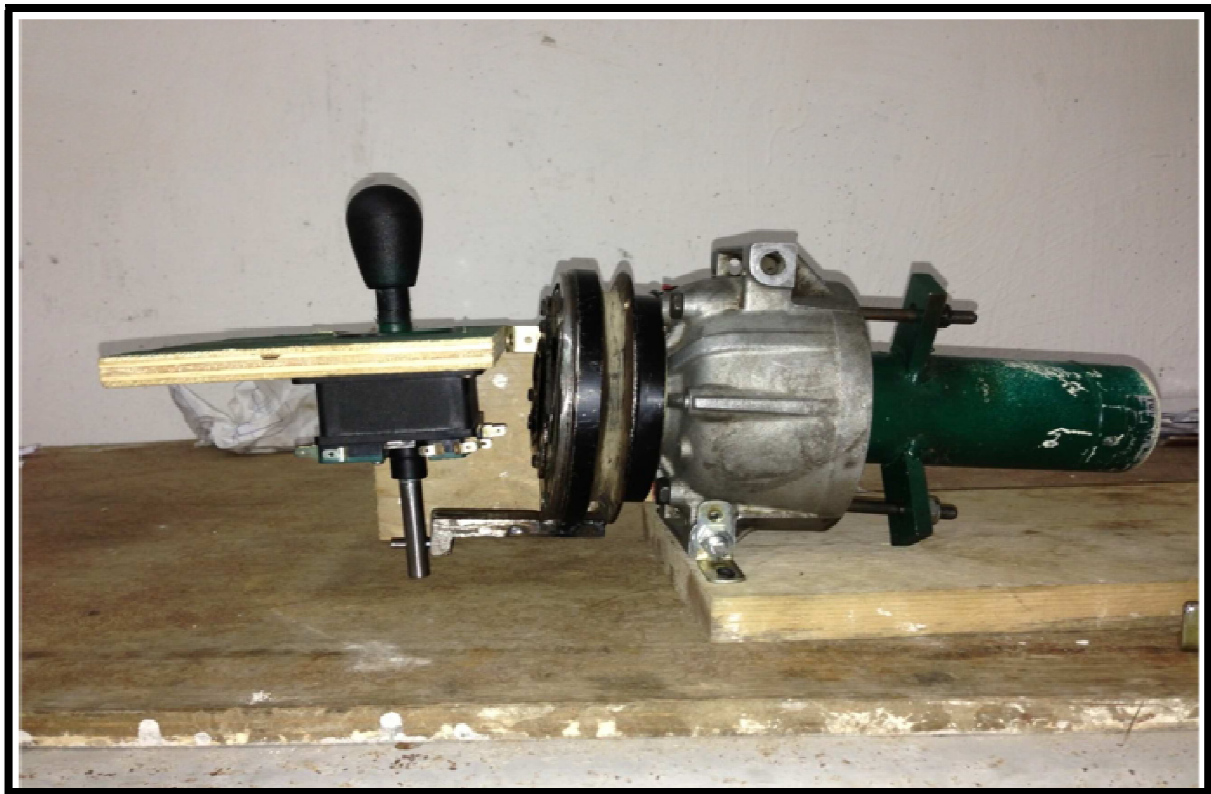


Figure III.3 : Manette et moteur

Afin de pouvoir commander le retour d'effort, la partie télécommande (maître) est dotée d'un moteur à courant continu, couplé à un bloc de transmission démultiplicatrice de vitesse dans le but d'augmenter le couple.

III.3.2 Problématique

Le problème qui se pose c'est que le couplage direct ne permet pas d'actionner la manette par l'utilisateur car pour faire tourner le bloc de démultiplication il faudrait une force qui n'est pas dans les moyens de l'opérateur, on a donc opté pour un découplage mécanique commandé électriquement afin de libérer la manette au moment de l'actionnement et de faire subir le rendu haptique au moment où la charge se présente sur le vérin opérant en milieu hostile comme le montre la figure ci-dessous

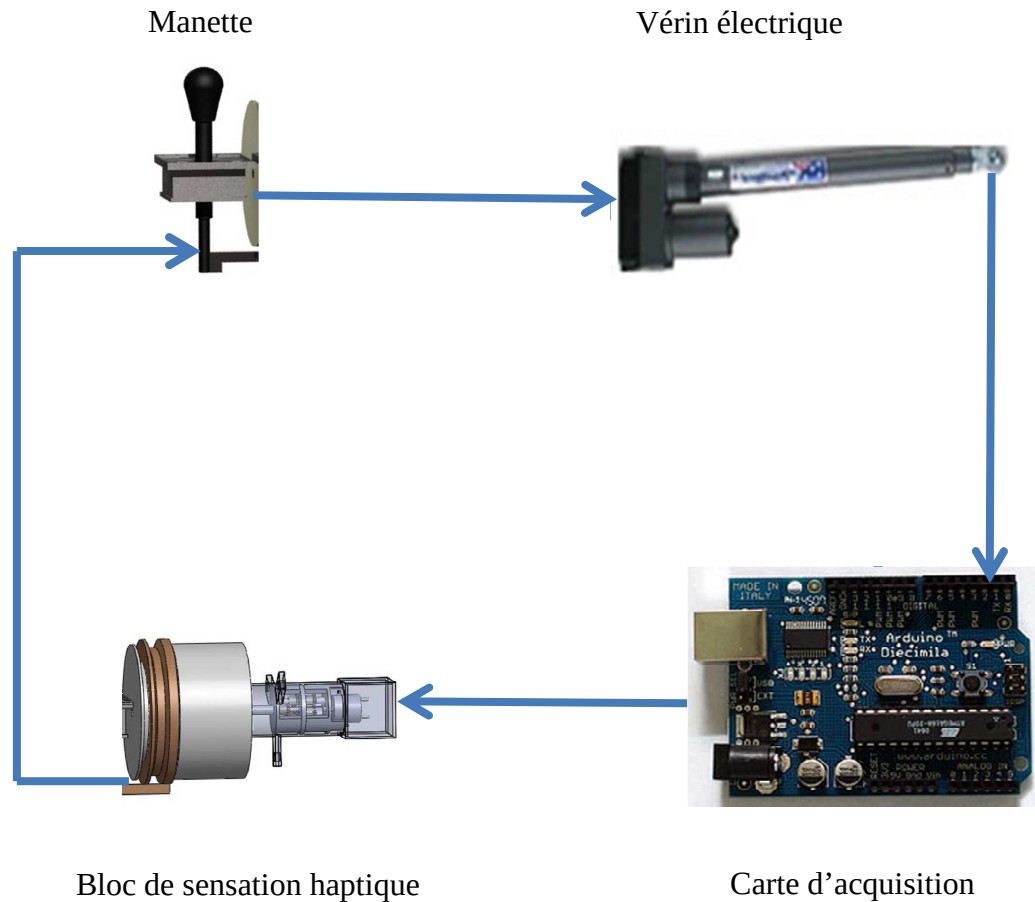


Figure III.4: Architecture du système

III.3.3 Partie réalisation

Pour la transmission de mouvement, la manette est équipée de deux commutateurs tout ou rien qui sont reliés directement au vérin, la commande en position de celui-ci dépendra de la précision et du doigter de l'utilisateur, car pour asservir le vérin en position l'opérateur devra estimer la position de la tige.

Comme le moteur équipant le vérin est couplé à un réducteur qui lui-même fait tourner une vis sans fin afin d'avancer la tige de façon très lente qui est largement au-dessous de la dynamique visuelle humaine, l'opérateur pourra manipuler la sortie de tige avec précision. Les schémas de puissance d'alimentation qui permettent de commander le vérin dans les deux sens sont donnés comme suit :

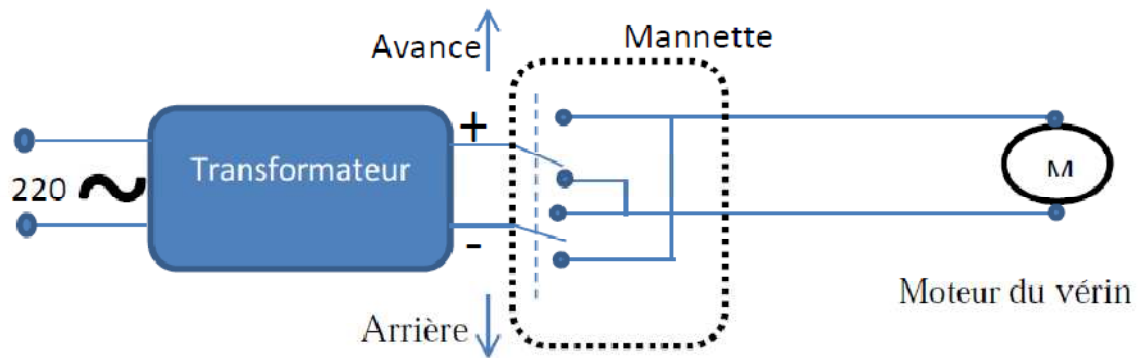


Figure III.5 : Schéma de puissance d'alimentation

Comme nous l'avons décrit ci avant, le retour d'effort qui permet d'avoir le ressenti des forces qui sont mises en jeu lors de l'opération, on a équipé la tige du vérin d'un capteur de forces type jauge de contrainte qui permet de renvoyer la déformation que matériaux subit par le biais de l'élongation des résistances montées dans un pont de Wheatstone, sous forme de tension analogique. Ainsi plus les efforts subit par la tige sont importants plus la tension mesurée au pont est grande.

III.3.3.1 Dispositif du pont

Le pont de Wheatstone est constitué de quatre résistances disposées en quadrilatère.

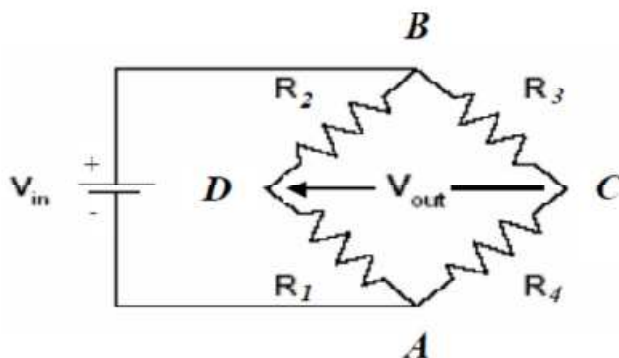


Figure III.6 : Pont deWheatstone

Le pont est un moyen très précis pour mesurer les résistances qui sont utilisées pour quantifier l'élongation du matériau.

Description du dispositif

Ce qui caractérise le montage est le pont, entre les points C et D, contenant un voltmètre qui détecte la tension lorsque le point A et le point B sont reliés à une source de tension ou de courant.

L'étude théorique de l'équilibrage du pont est donnée en appliquant le théorème de Millman en le point C et en le point D, on aura ainsi:

$$V_C = \frac{\left(\frac{V_A}{R_4} + \frac{V_B}{R_3}\right)}{\left(\frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_3}\right)} = \frac{(V_A R_3 + V_B R_4)}{(R_3 + R_4)} \quad V_D = \frac{\left(\frac{V_A}{R_1} + \frac{V_B}{R_2}\right)}{\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)} = \frac{(V_A R_2 + V_B R_1)}{(R_2 + R_1)}$$

$$V_{in} = (V_B - V_A) \quad V_{out} = (V_D - V_C)$$

Equation de base du pont est donnée comme suit :

$$V_{out} = \frac{V_{in}(R_1 R_3 - R_2 R_4)}{(R_2 + R_1)(R_3 + R_4)}$$

Le pont est dit équilibré lorsque V_{out} est nul quelle que soit l'entrée. Cela se traduit donc par le fait que :

$$(Equilibrage du pont) \iff (R_1 R_3 - R_2 R_4) = 0$$

Dans notre cas c'est un demi-pont de Wheatstone qui est utilisé car on a deux résistances qui varient. Ainsi le pont est initialement équilibré mais R_3 varie de dR et R_4 de $-dR$

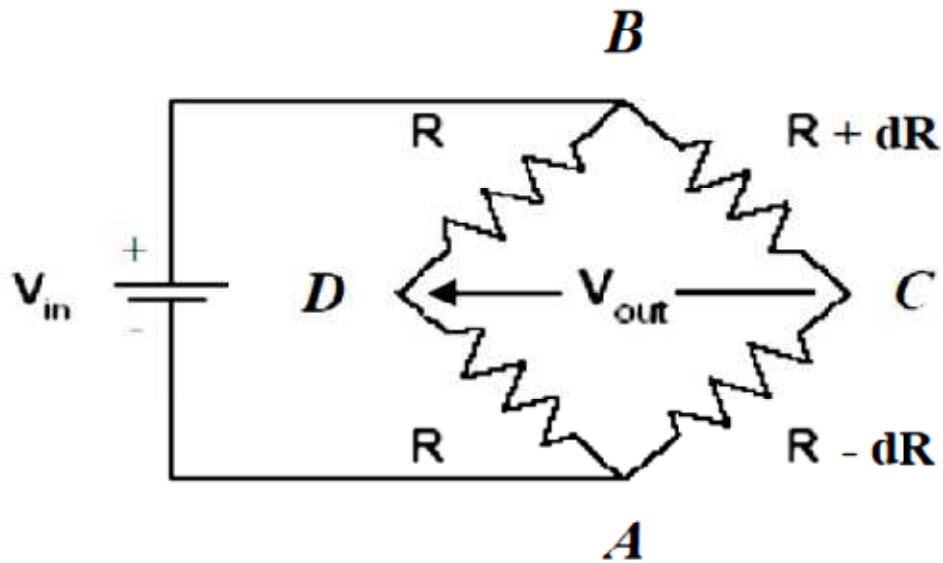


Figure III.7 : Pont de Wheatstone

L'équation de base devient alors

$$dV_{out} = \frac{V_{in}(4dR R^3 - (-4dR R^3))}{(4dR R^2)(4dR R^2)} = \frac{V_{in}}{2} \frac{dR}{R}$$

Soit :

$$V_{out} = \frac{V_{in}}{2} \frac{\Delta R}{R}$$

III.3.3.2 Capteur d'effort

Notre cellule de déformation est donc équipée de deux jauges de contraintes disposées comme le montre la figure ci-dessous

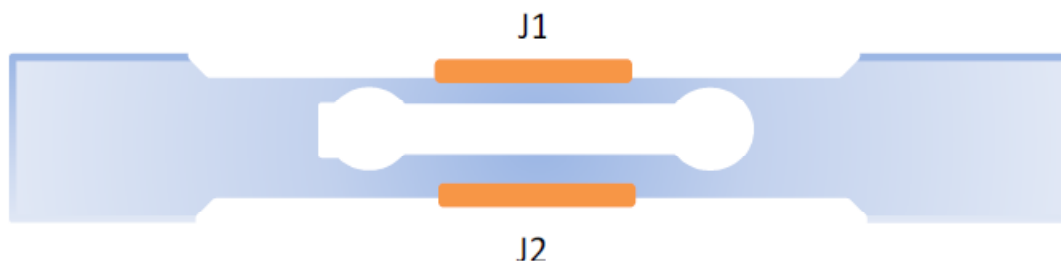


Figure III.8 : Les jauges

Description du dispositif

Ainsi si une contrainte se présente de haut en bas J1 travaille en compression et J2 en traction et vice versa, les deux contraintes subissent les mêmes déformations.

La résistance d'une jauge est donnée par :

$$R = \frac{\rho l}{A}$$

Avec :

R : La résistance.

ρ : La résistivité du conducteur dont est formée la jauge.

l : La longueur du fil conducteur de la jauge.

A : La section de la jauge

$$\frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho} + \frac{dl}{l} - \frac{dA}{A}$$

$$\text{Or } A = \pi \frac{D^2}{4} \text{, où } \frac{dA}{A} = 2 \frac{dD}{D}$$

Mais $\frac{dD}{D} = -\nu \frac{dl}{l}$ avec ν le coefficient de poisson de la jauge.

$$\text{Alors : } \frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho} + \frac{dl}{l} (1 + 2\nu)$$

On introduit alors **k** « facteur de jauge » qui caractérise la variation de la résistance en fonction de sa déformation axiale

$$\frac{dl}{l} = \varepsilon$$

$$k = \frac{\frac{dR}{R}}{\varepsilon} = 1 + 2\nu + \frac{\frac{d\rho}{\rho}}{\varepsilon}$$

$$\text{Alors } \frac{dR}{R} = k \varepsilon$$

La tension ainsi délivrée par le pont est directement acquise par la carte qui va générer une commande proportionnelle à la tension mesurée.

III.4 commande MLI

Présentation :

L'avènement de l'électronique de puissance a eu un impact majeur sur le monde industriel au cours des dernières décennies. Cet avènement s'est produit par l'arrivée sur le marché des composants d'électronique de puissance tels les thyristors, les triacs, les GTO, les IGBT ou les transistors de forte puissance. Ces composants ont permis le développement de convertisseurs statiques de grande puissance qui permettent la conversion de la puissance électrique d'une forme quelconque à une autre forme. Ces convertisseurs apportent un progrès considérable au niveau des procédés industriels.

L'utilisation de ces convertisseurs statiques dans les installations de conversion d'énergie électrique participe à détériorer la "qualité" du courant et de la tension des réseaux de distribution. En effet, ces systèmes consomment des courants non sinusoïdaux.

III.4.1 Technique de commande MLI

Quand on veut faire varier la vitesse d'un moteur, la première idée qui vient à l'esprit est de faire varier la tension au borne du moteur mais on constate que pour des valeurs faibles de la tension, le moteur ne tourne pas. Le moteur demande une tension minimale assez importante pour démarrer. Si cette dernière est trop basse, les forces électromagnétiques ne sont pas suffisantes pour combattre le frottement. Il devient donc difficile d'ajuster la vitesse de façon précise. La solution à ce problème est astucieuse. Il suffit de fournir au moteur une tension qui est toujours la même soit la tension maximale. Par contre, cette tension ne sera appliquée que par très courtes périodes de temps.

En ajustant la longueur de ces périodes de temps, on arrive à faire avancer plus ou moins vite les moteurs. Mieux, on remarque que la vitesse des moteurs devient proportionnelle à la longueur des périodes de temps.

Cette dernière est obtenue en appliquant une tension rectangulaire d'amplitude U constante et de rapport cyclique $\alpha = t_H/T$ variable.

Dans ce cas, la valeur moyenne $\bar{U} = U \alpha$.

Cette commande s'appelle la Modulation de Largeur d'Impulsion (MLI ou PWM pour PulseWidth Modulation).

III.4.2 Objectif de la technique MLI

Les objectifs principaux d'une MLI sont les suivants:

- 1) Obtenir dans la charge électrique des courants dont la variation est proche de la sinusoïdale par le contrôle de l'évolution des rapports cycliques et grâce à une

fréquence élevée des commutations des interrupteurs par rapport à la fréquence des tensions de sortie.

- 2) Imposer à l'entrée de l'onduleur un courant de type continu avec des composantes alternatives d'amplitudes réduites et de fréquences élevées.
- 3) Permettre un contrôle fin de l'amplitude du fondamentale des tensions de sortie généralement sur la plus grande plage possible et pour une fréquence de sortie large variable.

III.4.3 Structure de MLI

La technique de modulation de largeur d'impulsion (MLI) permet de commander la tension de sortie de l'onduleur en amplitude et en fréquence à partir des signaux de commande des interrupteurs de l'onduleur tout en limitant l'effet des harmoniques. Il existe différentes structures de Modulation de Largeur d'Impulsion permettant de gérer les trois courants d'alimentation de la machine à partir des courants de référence calculés au niveau de la commande. Trois types de MLI sont généralement utilisés [11].

III.4.3.1 La MLI pré-calculée

Consiste à calculer les instants de commutation des interrupteurs de puissance de manière à éliminer certaines harmoniques non désirables. Ces séquences sont alors enregistrées dans une mémoire et restituées cycliquement pour assurer la commande des interrupteurs. L'implantation de cette technique de MLI sur circuit intégré spécifique est alors envisageable. Plusieurs travaux d'intégration ont d'ailleurs été réalisés pour ce type de structure.

III.4.3.2 La MLI dent de scie

Elle est basée sur la comparaison entre une onde modulante, de forme sinusoïdale à faible fréquence, et une autre onde porteuse de forme dent de scie à fréquence plus élevée. Les points d'intersection entre la porteuse et la modulante déterminent les instants de commutation. Ce genre de MLI est surtout bien adapté à l'électronique analogique mais difficilement utilisable en numérique. En effet, il est difficile de reproduire une tension de référence sinusoïdale parfaite à partir d'informations numériques.

III.4.3.3 La MLI vectorielle

Cette technique est utilisée dans les commandes modernes des machines asynchrones pour obtenir des formes d'ondes arbitraires non nécessairement sinusoïdales. Le principe de la MLI vectorielle consiste à reconstruire le vecteur de tension statorique V_s à partir de huit vectrices tensions. Chacun de ces vecteurs correspond à une combinaison des états des interrupteurs d'un onduleur de tension triphasé. Cette méthode de MLI peut désormais être implantée dans des circuits intégrés numériques. Elle nécessite toutefois des calculs numériques rapides et précis.

III.4.4 Intérêt d'utilisation de la MLI

Le principal intérêt de la technique PWM est de limiter la chauffe des composants électroniques. Par exemple : une lampe de 20 Watts allumée au maximum consomme 20Watt. Si par une commande de gradation elle est allumée au quart de sa puissance, elle consomme 5Watt. Le composant analogique devrait alors dissiper 15 W, ce qui implique un énorme radiateur.

En PWM, la puissance fournie est soit maximale, soit nulle.

Lorsqu'elle est maximale, pendant un quart du temps par exemple, il n'y a pas besoin de dissiper de puissance résiduelle. Lorsqu'elle est nulle, il n'y a pas besoin de dissiper non plus de puissance, car elle n'est pas fournie du tout.

Un autre intérêt de la PWM est que la tension appliquée au moteur pendant un temps est V_{cc} . Celle-ci est suffisante pour vaincre les frottements et faire tourner le moteur. Mais la tension moyenne appliquée au moteur est proportionnelle au rapport cyclique, ce qui permet d'avoir des consignes de vitesse faibles. La commande de moteur par PWM est très liée à la notion de fréquence. Pour que l'impression d'une valeur moyenne constante d'allumage apparaisse, il faut que l'alternance d'allumage/extinction soit suffisamment rapide pour qu'elle ne se remarque pas.

Selon les utilisations la fréquence de PWM va de 100 Hz (100 cycles par seconde) à 200 kHz.

III.5 Dispositif de la commande de puissance

Une fois le signal acquis par la carte et que celui-ci correspond à une valeur d'effort supérieur à la force générée par les frottement et l'inertie du système la carte envoie un double signal simultanés l'un pour actionner l'électroaimant afin d'avoir le couplage entre le bloc du rendu haptique et la manette, l'autre signal est envoyé vers le moteur sous forme de signal MLI (modulation de largeur d'impulsion), qui produit le retour d'effort en vue de pouvoir commander l'amplitude de la force ressentie de façon autonome. Cette commande est très utilisée pour la commande des moteurs à courant continu.

Comme, les signaux délivrés par la carte d'acquisition sont des signaux de faible puissance avec des courants qui ne dépassent pas les 40 mA, alors que le moteur a une puissance largement supérieure à celle délivrée par la carte avec un courant pouvant aller jusqu'à 1 ampère, ainsi qu'un électroaimant qui lui fait du 1.7 ampère sous 12 V.

Afin de palier à ce problème et éviter de griller la carte d'acquisition. On a élaboré une interface de puissance dont un schéma électrique. Ce dernier est constitué des composants suivants :

- **L'amplificateur INA126:** L'INA126 est un instrument d'amplification précis et fidèle aux faibles bruits.

Sa conception à base de deux amplificateurs opérationnels, offre une excellente performance avec un très faible courant de repos ($175\mu A/\text{canal}$). Nous avons fait appel à cet amplificateur

Description du dispositif

pour amplifier le signal sortant du capteur de force de telle sorte qu'il soit ressenti par la carte d'acquisition.

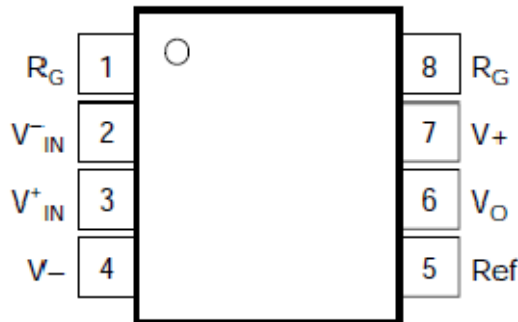


Figure III.9 : Configuration des pins (INA 126)

➤ **Microcontrôleur L293E:** Le L293E est un dispositif push-pull capable de fournir un courant de sortie de 1A par canal, possédant un boîtier de 20 pins Powerdip.

Ce composant contient de quoi faire deux ponts complets formant ainsi un étage de puissance pour piloter un moteur pas-à-pas ou à courant continu. Chaque circuit dispose de lignes de contrôle compatibles TTL.

De plus, le L293E possède un accès à l'émetteur de chaque drivers (soit quatre par circuit) Ces connections sont utilisées pour connaître l'intensité du courant traversant les bobines du moteur par l'intermédiaire d'une résistance de mesure.

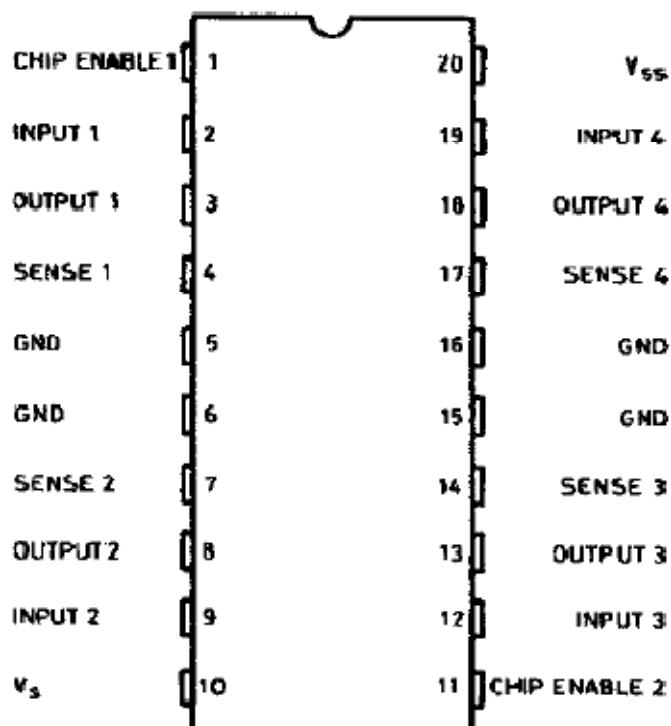


Figure III.10: Configuration des pins (L293E)

- **Le régulateur 7805 :** est un régulateur de tension positive, idéal pour stabiliser une tension à une valeur fixe. Il convient pour tous montages électroniques nécessitant une tension fixe, sur notre projet on a besoin d'une tension fixe (5V).

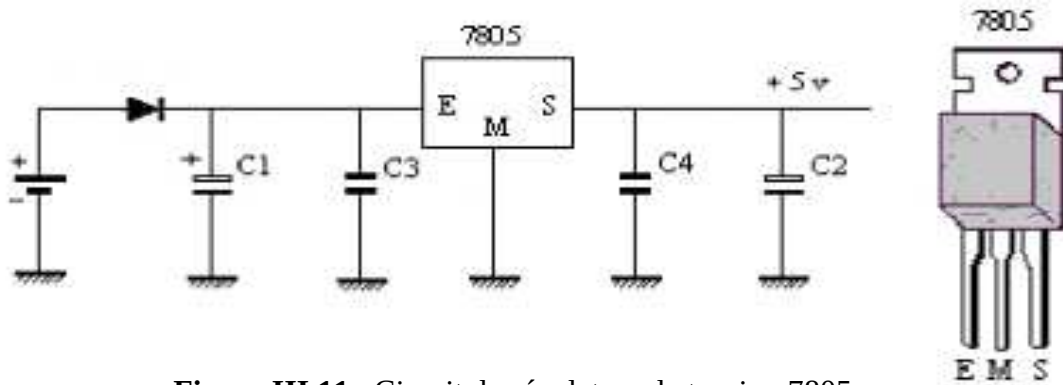


Figure III.11 : Circuit du régulateur de tension 7805

- D'autres composants comme les diodes, les résistances et aussi les condensateurs sont utilisés, de cela on a réalisé un circuit R-C pour filtrer la commande PWM sortante de la carte d'acquisition pour commander le moteur.

III.6 Résultats expérimentaux

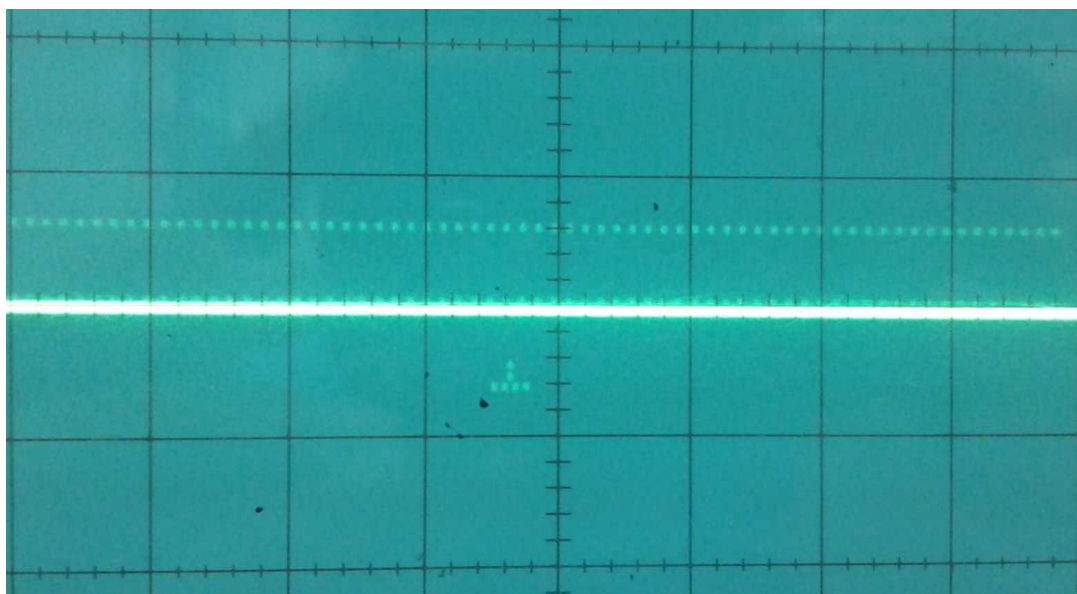


Figure III.12: Sortie du capteur de force au repos

Description du dispositif

La figure (III.12) représente l'état initial du capteur (sans application de force)

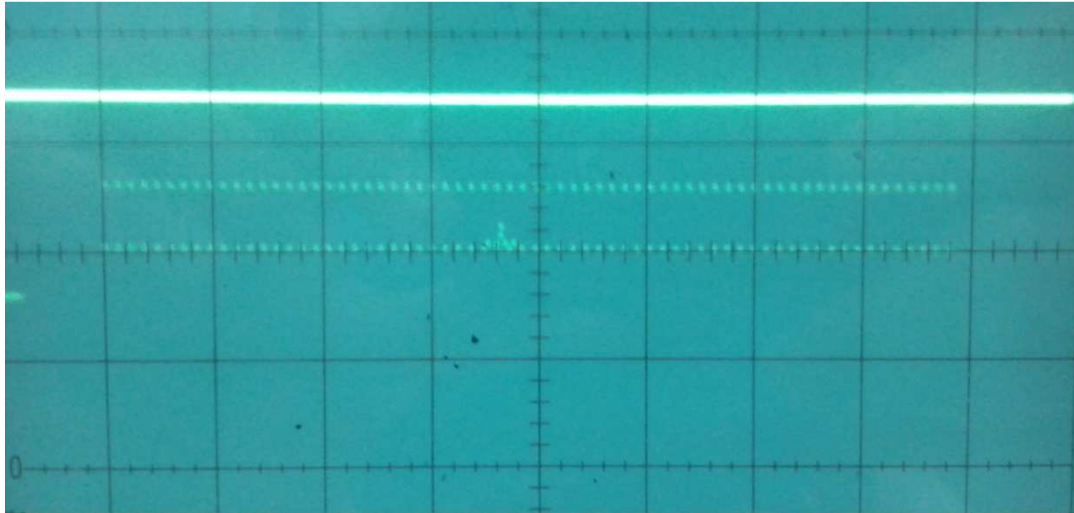


Figure III.13 :Sortie du capteur de force après application d'effort

La Figure (III.13) est la résultante de l'effort subit sur le capteur, celle-ci est proportionnelle à la force appliquée (dès que la force appliquée est plus intense, la rotation du moteur fait plus de tours)

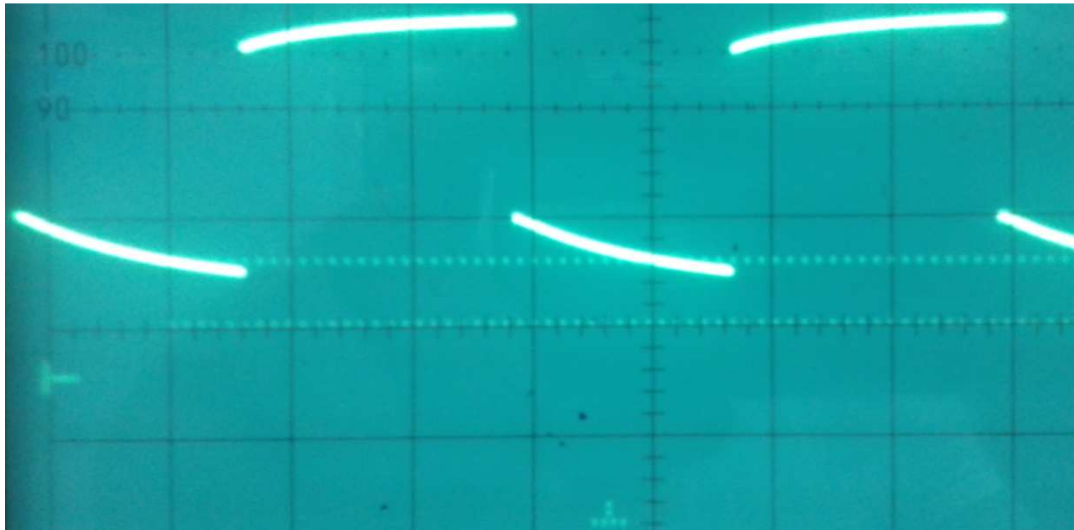


Figure III.14: La sortie pwn délivrée par la carte d'acquisition

La figure (III.14) représente la commande PWM sortante de la carte d'acquisition Arduino. Et cette commande varie en fonction de la force appliquée.

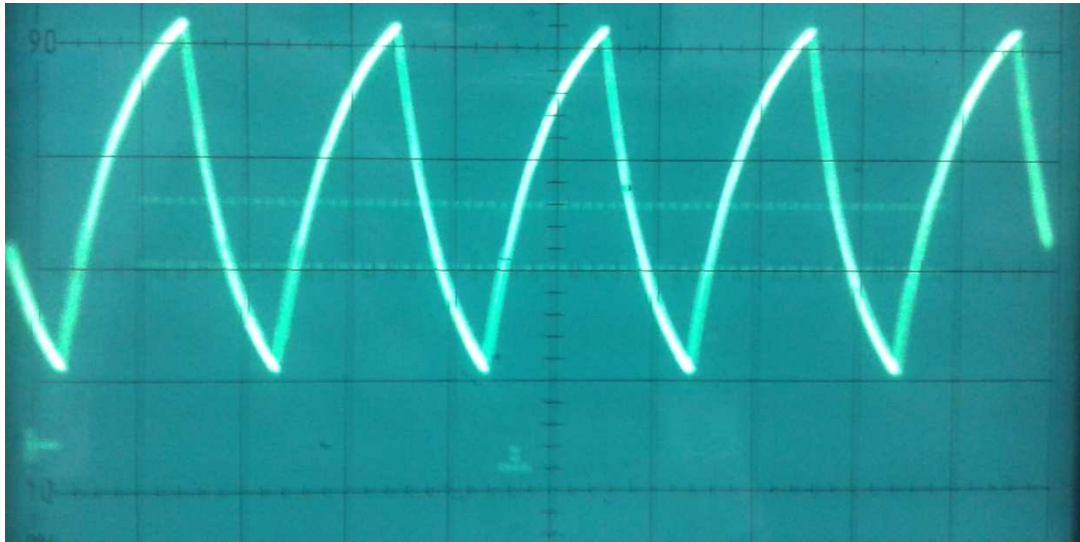


Figure III.15: La sortie PWM après filtrage

La Figure (III.15) représente la sortie de la commande PWM après filtrage grâce au circuit R-C.

III.7 Conclusion :

Dans ce dernier chapitre on a parlé du projet de la téléopertaion à ressentir d'effort à un degré de liberté (1ddl), puis nous avons présenté les composants utilisés en expliquant l'importance de la PWM et enfin l'interprétation des graphes pris sur l'oscilloscope.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le travail que nous avons présenté, représente une contribution dans le domaine du contrôle des forces en télé opération. L'objectif de ce mémoire a été la conception d'une interface haptique, pour les missions de télé opération à retour de force. Ce système doit permettre une commande intuitive de la réalisation télé opérée tout en reproduisant le plus fidèlement possible les efforts.

Dans une première partie, nous avons commencé par passer en revue les systèmes de téléopérations ce qui nous a permis notamment de mettre en évidence les deux familles d'interfaces haptiques utilisés dans les systèmes de télé opération.

Le deuxième chapitre a été consacré à la carte d'acquisition Arduino où nous avons d'abord donné la définition de la carte Arduino, ses caractéristiques et son architecture et par la suite nous avons cité des exemples qui peuvent être appliqués sur cette carte.

Et nous finissons ce mémoire par le dernier chapitre qui détail la description du dispositif réalisé ainsi que tous les composants utilisés en s'intéressant sur la commande MLI et enfin l'interprétation des résultats expérimentaux obtenus sous forme de graphes.

Cette expérience nous a vraiment enrichies d'un point de vue technique, le fait que nous avons pu découvrir une application en temps réel avec toutes les contraintes liées aux réalisations expérimentales. Le développement d'un projet de longue durée s'est révélé être différent des projets précédents (plus courts) : les consignes changent au fur et à mesure. Nous avons atteint l'objectif principal qui était de faire rouler le système à nouveau en réalisant une commande sûre, et fiable.

Nous souhaitons que ce mémoire muni de l'application réalisée puisse servir de support pédagogique pour les futures recherches concernant la robotique et en particulier la télé opération, notamment l'amélioration de cette présente réalisation en intégrant d'autres structures.

Bibliographie

Bibliographie

Bibliographie

- [1] N. Lazaric. « Origines et développement de la robotique », Revue d'économie industrielle, No. 61(3), 1992.
- [2] R. M. Murray, Z. Li, and S. S. Sastry, «A Mathematical Introduction to Robotic Manipulators», CRC Press, 1994.
- [3] Letier, «Etude des interfaces haptiques et de leur potentiel en nanomanipulation», MasterThesis, Université Libre de Bruxelles, 2004
- [4] M. Illaume et J. Gangloff, « commande referencee capteurs en robotique médicale et chirurgicale », France 2005.
- [5] T.Fong, & C.Thorpe, «Vehicle teleoperation interface.Autonomous Robots», 2001.
- [6] K. Burn, Z. Hu, W. Pongean, and A. Bashir, Bicker, «The early development of remote tele-manipulation systems», In Proc. International Symposium on History of Machines and Mechanisms, 2004.
- [7] Okamura, «Haptic feedback in robot-assisted minimally invasive surgery». Current Opinion In Urology, 2009.
- [8] H. Hashimoto, and Sitti, «Teleoperated touch feedback from the surfaces at the nanoscale : modeling and experiments», IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 2003.
- [9] Sortie mondiale des nouvelles cartes Onu et Mega2560 (en remplacement des cartes Arduino Duemilanoveet Mega), 2010.
- [10] La référence complète étendue du langage Arduino en français, traduction de la référence étendue officielle en anglais, complète de quelques commentaires au besoin, 2010.
- [11] C Programming for Arduino, Julien Bayle, ed. PacktPublishing Limited 2013 (ISBN 978-1849517591)
- [12] Arduino : Applications avancées, Christian Tavernier, 2012 (ISBN 978-2100582051)
- [13] Ostertag « Systèmes et asservissements continus. Modélisation, analyse, synthèse des lois de commande», Ellipses, 2004.
- [14] J. Salisbury & Guthart «The Intuitive Telesurgery System : Over-view and Application», IEEE International Conference on Robotics andAutomation, 2000.

Bibliographie

[15] S.Laurentiu, « Capitaneanu Optimisation de la Fonction MLI d'un Onduleur de Tension Deux-Niveaux », Docteur de l'Institut National Polytechnique de Toulouse.

[16] Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265. Copyright, Texas Instruments Incorporated, 2014.