

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعد دحلب البليدة  
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا  
Faculté de Technologie

قسم الإلكترونيك  
Département d'Électronique



## Mémoire de Master

Mention Électronique

Spécialité Microélectronique, Microsystèmes et Conception de Circuits

présenté par

Souidi Fateh

&

Khelafi Abderrahmane

---

# Commande FPGA d'un dispositif opto-électromécanique de positionnement $x, y$ d'un rayon laser issu d'une source fixe

---

Proposé par : m<sup>em</sup>.H.Bougherira et m<sup>em</sup>.D. Naceur

Année Universitaire 2015-2016

Nous remercions Dieu, le tout puissant, pour nous avoir donné, le courage, la patience, la volonté et la force nécessaires, pour affronter toutes les difficultés et les obstacles, qui se sont hissés au travers de notre chemin, durant toutes nos années d'études.

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à nos promotrices Mme *BOUGHRIRA. H* et *NACEUR.D* pour nous avoir proposé ce sujet, leurs précieux conseils tout au long de notre travail, leur aide et leur confiance.

Nous remercions également tous les enseignants de département électronique pour leur encouragement durant notre cursus universitaire et tous les enseignants du primaire jusqu'à l'université.

# *Dédicaces*

*Je dédie ce projet de fin d'étude aux personnes qui me sont les plus chères:*

- *A mes adorables parents qui m'ont énormément soutenu dans les moments les plus difficiles, partagés mes joies et mes peines, qui se sont toujours sacrifiés a mes dépends.*
- *mes sœurs et mon frère.*
- *A mes oncles, tantes, cousins, cousines.*
- *A toute ma famille sans exception.*
- *A mes très chère amis :**Amine, Belkacem, Walid, Djawad eddine, Samir, Abdou, Mohammed, Hichem, Ali djallel eddine, Zohir ,charafeddine** et toute la promo d'électronique(MMCC) 2015/2016.*
- *A mon collègue **F.SOUIDI** et toute sa famille.*

*Enfin, mes dédicaces sont destinés a tous ceux et celles que j'aime et qui m'ont soutenu durant le P.F.E.*

**A.KHELAFI**

# *Dédicaces*

*Je dédie ce projet de fin d'étude aux personnes qui me sont les plus chères:*

- *A mes adorables parents **Khalifa et Hdjila** qui m'ont énormément soutenu dans les moments les plus difficiles, partagés mes joies et mes peines, qui se sont toujours sacrifiés a mes dépends.*
- *A ma chère grand-mère **Hadda**.*
- *mes sœurs*
- *A mes oncles, tantes, cousins, cousines.*
- *A toute ma famille sans exception.*
- *A mes très chère amis :**Amine,Belkacem,Walid,Hossem,Samir,Abdou,Mohammed, Hichem, Ali djallel eddine ,Zohir , Amer, Moussa** et toute la promo d'électronique(MMCC) 2015/2016.*
- *A mon collègue **A.KHELAFI** et toute sa famille.*

*Enfin, mes dédicaces sont destinés a tous ceux et celles que j'aime et qui m'ont soutenu durant le P.F.E.*

***F.SOUIDI***

---

## ملخص:

الهدف من هذا المشروع هو مراقبة إحداثيات النقطة س و ع لشعاع ضوئي منبعث من مصدر ثابت لإثارة مناطق معينة من شبكية العين.

لدينا جهاز الكتروميكانيكي ضوئي يتكون من محركين من اجل تدوير مرآة على المحورين س و ع لتغيير زوايا انعكاس الشعاع المنبعث من المصدر.

كلمات المفاتيح: شبكية العين , محركين , مرآة

---

Résumé :Le but de ce projet est le contrôle et positionnement du point X, Y d'un rayon lumineux émis par une source lumineuse fixe pour l'excitation des zones spécifiques de la rétine, par réflexion du rayon lumineux sur un miroir.

Nous avons réalisé un dispositif opto-électromécanique constitué par deux moteurs pas à pas, commandés par circuit FPGA, pour faire tourner un miroir autour des axes verticalet horizontal pour modifier le point d'incidence (X,Y) sur la rétine, d'un rayon laser réfléchi par le miroir. Nous avons expérimenté avec succès notre dispositif en implantant le circuit de contrôle sur la carte FPGA DE2 basée sur le circuit FPGA cyclone II d'ALTERA

Mots clés : rétine ; moteurs pas à pas ; miroir ; FPGA.

---

Abstract: The objective of this project is to control the x,y positioning of the impact point, of a ray light incoming from a fixed lightsource to excite specific areas of the retina.

We have designed and built an opto-electro-mechanical system made of two step motors controlled by an FPGA circuit, in order to rotate horizontally and vertically a mirror, to modify the x,y coordinates of the impact point of the reflected laser ray, on the retina. We have successfully experienced our system by implementing our circuit on a DE2 FPGA board based on ALTERA's Cyclone II FPGA circuit.

Keywords: retina, stepper motors, Mirror, FPGA.

---

## Table des matières

Introduction générale .....	1
Chapitre 01 : Généralités	
1.1. Introduction .....	2
1.2. Partie A : Les moteurs pas à pas .....	2
1.2.1. Généralités.....	2
1.2.2. Moteur à réluctance variable.....	3
a Inconvénients.....	5
b Avantages du système.....	5
1.2.3. Moteur à aimants permanents.....	5
a Moteur à aimant permanent bipolaires.....	6
b Moteur à aimant permanent unipolaire.....	6
1.2.4. Moteur pas à pas hybride.....	7
1.2.5. Comparaison entre les trois types de moteurs pas à pas.....	7
1.2.6. Les avantages et les Inconvénients de moteurs pas à pas.....	8
a avantages .....	8
b inconvénients.....	8
1.2.7. Choix des moteurs.....	8
1.2.8. Propriétés et applications.....	8
1.2.9. Système vis écrou .....	9
1.3. Partie B : étude optique.....	11
1.3.1. Généralités.....	11
a le miroir .....	11
b l'image d'un miroir plan.....	11

1.3.2. Lois de la réflexion.....	12
a définition .....	12
b première loi de la réflexion.....	12
c deuxième loi de la réflexion.....	13
1.4. Partie C : FPGA .....	14
1.4.1. Définition .....	14
1.4.2. Application.....	14
1.4.3. Architecture des FPGA.....	15
1.4.4. Les outils de développement des FPGA.....	15
1.4.5. Les avantages et les inconvénients des FPGAs.....	16
a Les avantages des FPGAs.....	16
b Les inconvénients des FPGAs.....	16
1.5. Conclusion .....	17
Chapitre 02 : conception du mécanisme	
2.1 Introduction.....	18
2.2. Étude optique du mécanisme .....	18
2.2.1. Choix de position de la source lumineuse.....	18
2.2.2. Calcul les équations optiques.....	19
2.3. Présentation et préparation de solidworks .....	22
2.3.1. Les fonctions principales que propose SolidWorks.....	22
2.4. Système des joins de cardans .....	25
2.5. Conception du mécanisme .....	25
a La plaque 1 .....	25
b La plaque 2 .....	26

2.5.1. Principe de fonctionnement du mécanisme .....	27
a déplacement du rayon réfléchi selon l'axe y .....	29
b Déplacement du rayon réfléchi selon l'axe X .....	29
2.6. Conclusion .....	31
Chapitre 0 3 : Conception et implémentation de la partie électronique	
3.1. Introduction .....	32
3.2. Présentation et brochage du circuit L293D .....	32
3.2.1 Le brochage .....	34
3.2.2. Montage pour moteur pas à pas 4 fils .....	36
3.3. La Réalisation de la carte.....	37
3.3.1. Test fonctionnement des moteurs.....	39
3.4. Programmation par FPGA .....	40
3.4.1. Création du projet.....	42
3.4.2. Recompiler le projet.....	45
3.5. Conclusion.....	46
Chapitre 0 4 : Simulation implémentation et résultat	
4.1. Introduction.....	47
4.2. Description VHDL du circuit de commande du dispositif.....	47
4.2.1. Description VHDL de la commande d'un moteur.....	44
4.2.1.1 Calcul du nombre de pas de rotation du moteur.....	48
4.2.1.2 Description VHDL et organigramme de la commande .....	49
4.2.2. Description VHDL de la commande des deux moteurs .....	51



4.3. Résultats de simulation sous ise.....	52
4.4. Expérimentation avec FPGA.....	55
4.5. Conclusion.....	58
Conclusion générale.....	59

## Liste des figures

Figure 1.1. Moteur pas à pas.....	3
Figure 1.2. ordre d'alimentation des bobines.....	4
Figure 1.3. Moteur à réluctance variable.....	4
Figure 1.4. Moteur à aimants permanents.....	5
Figure 1.5. Moteur à aimant permanent bipolaire.....	6
Figure 1.6. Moteur à aimant permanent unipolaire .....	6
Figure 1.7. Moteur hybride.....	7
Figure 1.8. System vis écrou.....	9
Figure 1.9. Image d'un miroir plan.....	11
Figure 1.10. Le rayon réfléchi du miroir.....	12
Figure 1.11. Première loi de réflexion .....	12
Figure 1.12. Deuxième loi de réflexion.....	13
Figure 1.13. Architecture interne de FPGA.....	15
Figure 1.14. carte de développement altera DE2.....	16
Figure 2.1. Vue latérale du mécanisme.....	19
Figure 2.2. Vue latérale du mécanisme (dimensionnement et laser).....	20
Figure 2.3. Les éléments de la plaque 1.....	24
Figure 2.4. Les éléments de la plaque 2.....	24
Figure 2.5. Photo Prud'homme.....	25
Figure 2.6. Assemblage de plaque 1.....	26
Figure 2.7. Assemblage de plaque 2.....	27
Figure 2.8. Assemblage général.....	28

Figure 2.9. Mécanisme Vue de coté.....	30
Figure 2.10. Mécanisme Vue de haut.....	30
Figure 3.1. Schéma synoptique.....	32
Figure 3.2. Brochage de circuit L293D.....	34
Figure 3.3. Structure interne de circuit L293D.....	35
Figure 3.4. Schéma structurel de la carte.....	37
Figure 3.5. Carte terminée (coté composants).....	38
Figure 3.6. Le pic de teste.....	39
Figure 3.7. Les connexions entre le FPGA et le mécanisme.....	40
Figure 3.8. Brochage du connecteur GPIO 0 (40 broches).....	41
Figure 3.9. Fenêtre de création d'un projet.....	42
Figure 3.10. Choix dossier et le nom du projet.....	43
Figure 3.11. Choix de circuit cyclone II EP2C3F5672C7.....	43
Figure 3.12. Choix de programme VHDL.....	44
Figure 3.13. Choix des pins planer .....	45
Figure 3.14. Programmation de circuit.....	46
Figure4.1.schéma bloc.....	47
Figure 4.2.Programme que calcul np.....	49
Figure 4.3.Organigramme. ....	50
Figure 4.4. Schéma bloc de circuit global (top module).....	51
Figure 4.5. Entity de Programme final.....	51
Figure 4.6.Programme de délai.....	52
Figure 4.7. Résultat pour( $X1 > X2$ ).....	53
Figure 4.8. Résultat pour ( $X1 < X2$ ).....	53

Figure 4.9. Résultat pour ( $X1 = X2$ ).....	54
Figure 4.10. Résultat pour le nombre d'impulsion égal le nombre de pas (np) est nul.....	54
Figure 4.11. Dispositif globale avec la carte FPGA.....	55
Figure 4.12. État initial.....	56
Figure 4.13. Première résultat.....	56
Figure 4.14. Deuxième résultat.....	57
Figure 4.15. Troisième résultat.....	57

## Liste des tableaux

<i>Tableau 1.1.</i> Comparaison des performances pour les trois types de moteurs pas à pas.....	7
Tableau 2.1. Les éléments de mécanisme général.....	28
Tableaux 3.1. Brochage pour moteur pas à pas 4 files.....	36
Tableau 3.2. Les séquences de rotation vers la droite.....	39
Tableau 3.3. Les séquences de rotation vers le gauche.....	39
Tableau 3.4. Assignements de broches du FPGA aux boutons interrupteurs.....	40
Tableau 3.5. Assignements de broches du FPGA aux boutons interrupteurs.....	41

## Listes des acronymes et abréviations

---

$\alpha$  : l'angle de rotation de moteur pas a pas (en rad)

$\theta$  : l'angle de rotation de miroir (en rad)

$\beta$  : l'angle de réflexion (en rad)

p : pas de la vis (en cm)

np : nombre de pas.

Y : déplacement de l'écrou (en cm)

L'objectif de notre projet est la conception et la réalisation d'un dispositif opto-électromécanique qui permet de piloter un rayon lumineux réfléchi sur un miroir, par deux moteurs pas à pas, commandés par circuit FPGA via une carte de puissance pour positionner le rayon lumineux en point X et Y précis de la rétine.

Notre dispositif a pour but de placer un rayon lumineux en un point X, Y précis de la rétine, et pourra être utilisé par exemple pour suturer un point hémorragique, ou détecter une des diverses pathologies de la rétine pour pouvoir les traiter.

Dans notre dispositif, un rayon lumineux, émis par une source laser fixe, est incident sur un miroir placé face à la source. La rotation du miroir selon les deux axes vertical, et horizontal, permet de positionner le rayon réfléchi au point X, Y (respectivement) de la rétine demandé par le manipulateur. La rotation de ce miroir est effectuée par l'actionnement d'un moteur pas à pas commandé par FPGA (carte FPGA DE2 munie du circuit FPGA Cyclone II d'ALTERA).

Le dispositif positionne sur un point précis de la rétine par pas de  $1/16 \text{ cm}$  un rayon lumineux. Il est donc essentiel que le positionnement soit très précis, surtout si l'on sait qu'un simple battement de cœur suffit à déplacer la rétine.

Le chapitre 1 traite les différents types de moteurs pas à pas et nous étudions dans le même chapitre les différentes lois optiques de réflexion sur un miroir le contrôle FPGA.

Dans le deuxième chapitre nous calculons les équations de commande et nous proposons une architecture du mécanisme.

Dans le troisième chapitre nous décrivons la réalisation de la carte de commande à base d'un circuit L293D ensuite on détaille la méthode de programmation de la carte FPGA alteraDE2 par le logiciel Quartus.

Dans le quatrième chapitre nous donnerons les différents résultats expérimentaux obtenus par notre système.

Enfin on terminera par une conclusion générale sur notre travail.

## 1.1. Introduction

Dans notre projet une source de lumière fixe émet un rayon réfléchi vers une position  $x, y$  de la rétine par un miroir grâce à une rotation ou tour d'axe ( $y$ ) et d'un des rotations autour d'un axe vertical ( $x$ ). Ainsi les rotations sont effectuées des moteurs pas à pas commandé par un circuit FPGA.

Dans ce chapitre nous avons trois parties, dans la première partie nous allons détailler les moteurs pas à pas et leur principe de fonctionnement. Il existe trois types de moteur pas à pas: les moteurs à aimants permanents et les moteurs à réluctance variable et les moteurs hybrides. Donc l'étude caractéristique de chaque type de ces moteurs est nécessaire pour effectuer le bon choix qui convient à notre application.

Dans la deuxième partie nous exposons des généralités sur les miroirs et les lois de base de réflexion de la lumière sur un miroir plan.

Dans la troisième partie, nous allons parler du circuit programmable FPGA et de ses utilisations.

## 1.2. Partie A : Les moteurs pas à pas : [1]

### 1.2.1. Généralités

Les premiers moteurs pas à pas datent de 1930, leur véritable développement est lié à l'événement de la micro-informatique (microprocesseur). Le moteur pas à pas peut remplir deux fonctions :

- Conversion d'énergie électrique en énergie mécanique (c'est le moteur classique)
- Conversion de l'information numérique en un positionnement angulaire ou linéaire.  
Le caractère synchrone du moteur pas à pas permet de faire fonctionner sans boucle de retour.

La rotation de leur axe suivant un angle déterminé à chaque impulsion que l'une ou l'autre de leurs différentes bobines recevra. Cet angle, qui varie selon la constitution interne du moteur, est en général compris entre  $0.9^\circ$  et  $90^\circ$ .

Les moteurs les plus couramment rencontrés présentent des pas de :



- $0,9^\circ$  soit 400 pas par tour
- $1,8^\circ$  soit 200 pas par tour
- $3,6^\circ$  soit 100 pas par tour
- $7,5^\circ$  soit 48 pas par tour
- $15^\circ$  soit 24 pas par tour

On trouve trois types de moteurs pas à pas :

- le moteur à réluctance variable
- le moteur à aimants permanents
- le moteur hybride, qui est une combinaison des deux technologies précédentes.



Figure 1.1. Moteur pas à pas.

## 1.2.2. Moteur à réluctance variable

Les moteurs à réluctance variable (moteurs MRV) doivent leur nom au fait que le circuit magnétique qui les compose s'oppose de façon variable à sa pénétration par un champ magnétique. Ces moteurs sont composés d'un barreau de fer doux et d'un certain nombre de bobines. Lorsqu'on alimente une bobine, elle devient un électroaimant et le barreau de

fer cherche naturellement à s'orienter suivant le champ magnétique. On alimente la phase 1, puis la phase 2, puis la phase 3 ... Si on veut changer le sens du moteur, il suffit de changer l'ordre d'alimentation des bobines.

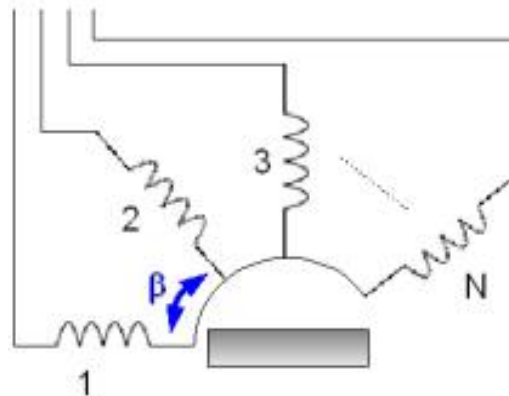


Figure 1. 2. ordre d'alimentation des bobines.

Dans la pratique, le barreau de ferrite a plusieurs dents (ici 6). Dès qu'on alimente la phase 2, il y a une rotation de  $15^\circ$  (i.e.  $60^\circ - 45^\circ = 15^\circ$ ), puis la phase 3, etc. Donc le moteur tourne de  $15^\circ$  dès qu'on alimente une phase. Il faut 24 impulsions pour faire un tour complet. C'est un moteur 24 pas.

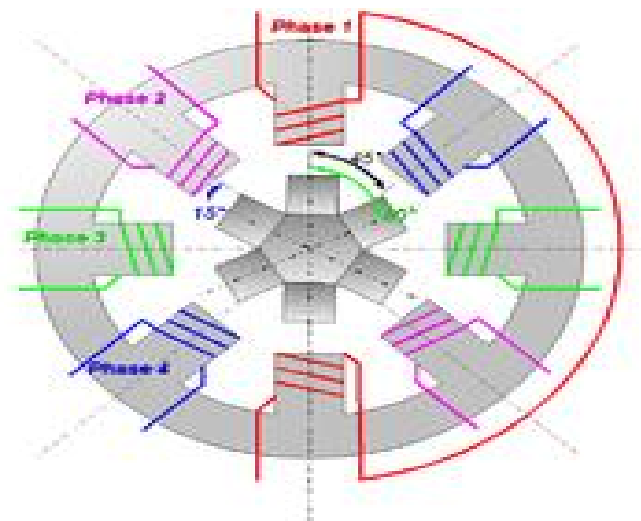


Figure 1. 3. Moteur à réluctance variable.

a Inconvénients

Nécessite au moins trois bobinages, pour obtenir un cycle complet, pas de couple résiduel, c'est-à-dire que hors tension, le rotor est libre, ce qui peut être problématique pour ce genre de moteur. La fabrication est assez délicate, les entrefers doivent être très faibles.

#### b Avantages du système

Peu coûteux, d'une bonne précision. Dans l'exemple, avec seulement 4 enroulements, on obtient 24 pas (on peut facilement obtenir 360 pas). Le sens du courant dans la bobine n'a aucune importance.

### 1.2.3. Moteur à aimants permanents

Les moteurs à aimants permanents sont semblables aux moteurs à réluctance variable, sauf que le rotor possède des pôles NORD et SUD. À cause des aimants permanents, le rotor reste freiné à sa dernière position lorsque le bloc d'alimentation cesse de fournir des impulsions. Une façon simple de voir le système, est de placer une boussole entre deux aimants. Suivant la bobine qui est alimentée et le sens du courant, l'aimant va s'aligner avec le champ.

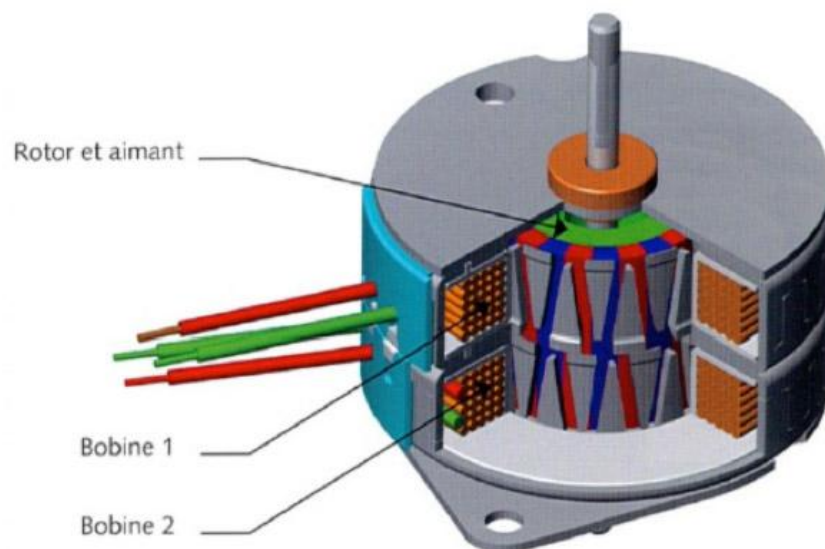


Figure 1.4. Moteur à aimants permanents.

Les moteurs à aimants permanents se subdivisent en deux types principaux :

- Les moteurs bipolaires
- Les moteurs unipolaires

#### a Moteur à aimant permanent bipolaires

Les bobines d'un moteur bipolaire sont alimentées une fois dans un sens, une fois dans l'autre sens. Ils créent une fois un pôle nord, une fois un pôle sud d'où le nom de bipolaire

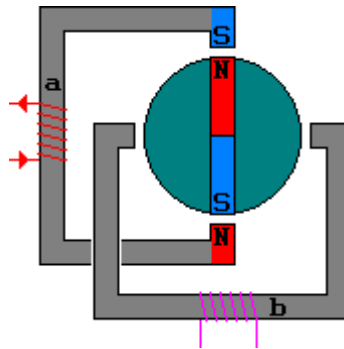


Figure 1.5. Moteur à aimant permanent bipolaire.

#### b Moteur à aimant permanent unipolaire

Les bobinages d'un moteur unipolaire sont alimentés toujours dans le même sens par une tension unique d'où le nom d'unipolaire

- 5 fils, 1 commun aux 4 bobines, plus un par bobine.
- 6 fils, 2 bobines avec point milieu (parfois appelé « 2 phases »).
- 8 fils, 4 bobines indépendantes, également appelé universel.
- Par abus de langage, ces moteurs sont tous appelés « 4 phases ». Ce sont les moteurs pour GP99 et BB00.

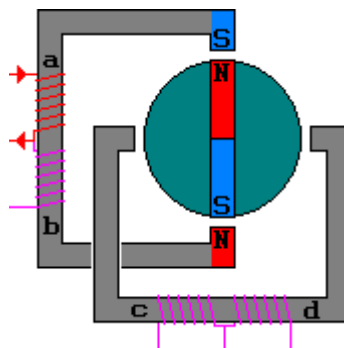


Figure 1.6. Moteur à aimant permanent unipolaire.

#### 1.2.4. Moteur pas à pas hybride

Le moteur pas à pas hybride emprunte du moteur à aimant permanent et de la machine à réluctance variable. Il est donc à réluctance variable mais avec un rotor à aimants permanents. L'avantage est un nombre de pas très élevé.

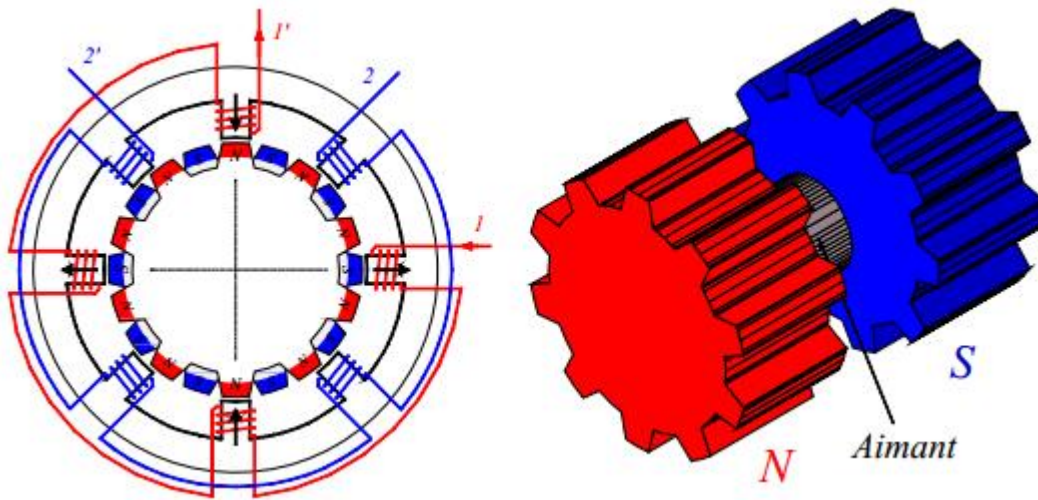


Figure 1.7. Moteur hybride.

## 1.2.5. Comparaison entre les trois types de moteurs pas à pas

Nous effectuons une étude comparative entre les moteurs à aimant et le moteur hybride et le moteur à réluctance variable

Type de moteur pas à pas	Moteur à réluctance variable	Moteur à aimants permanents	Moteur hybride
Résolution (nb de pas par tour)	Bonne	Moyenne	Elevée
Couple moteur	Faible	Elevée	Elevée
Sens de rotation	Dépend : - de l'ordre d'alimentation des phases	Dépend : - de l'ordre d'alimentation des phases - du sens du courant dans les bobines	Dépend : - de l'ordre d'alimentation des phases - du sens du courant dans les bobines
Fréquence de travail	Grande	Faible	Grande
Puissance	Quelques Watts	Quelques dizaines de Watts	Quelques Kwatts
Inconvénients	Pas de mémoire de position		

Tableau 1.1. Comparaison des performances pour les trois types de moteurs pas à pas.

## 1.2.6. Les avantages et les Inconvénients de moteurs pas à pas

## a avantages

- Rotation constante pour chaque commande (précision meilleure que 5% d'un pas).
- Existence de couple à l'arrêt.
- Contrôle de la position, de la vitesse
- Moteur sans balais.

## b inconvénients

- Plus difficile à faire fonctionner qu'un moteur à courant continu.
- Vitesse et couple relativement faible.
- Couple décroissant rapidement lorsque la vitesse augmente.
- Résonance mécanique.

### 1.2.7. Choix des moteurs

Pour notre projet, on a opté pour deux moteurs à aimant permanent, unipolaire, Mode monophasé.

### 1.2.8. Propriétés et applications

Le moteur pas à pas a été conçu à partir de deux démarches logiques très différentes

- d'une part, on a cherché un moteur capable de développer un couple important à faible vitesse, voire même à l'arrêt
- d'autre part, on a étudié un dispositif capable de convertir des informations de caractère discret.

Le convertisseur d'énergie à basse vitesse et le transmetteur de l'information sont devenus un moteur pas à pas moderne vers les années 1970, grâce au développement conjugué de l'électronique de puissance et, surtout, grâce à l'apparition de l'électronique numérique à forte intégration.

Le moteur pas à pas est actuellement le principal élément intermédiaire entre les dispositifs de traitement d'information et le monde électromécanique extérieur. Par ailleurs, ses capacités à contrôler la position et la vitesse, par un train d'impulsions de commande, assurent à ce convertisseur des applications comme

- la traction des robots mobiles
- le fonctionnement en moteur couple de grande puissance
- l'indexage rotatif ou linéaire.

Dans sa version classique, le moteur pas à pas est alimenté à partir d'une source (de courant ou de tension) continue et le contrôle de la vitesse ou/et de la position s'effectue en boucle ouverte.

Le pilotage en boucle ouverte qui constitue un des principaux avantages du moteur pas à pas, aussi bien du point de vue économique (coût et fiabilité d'installation) que fonctionnel (commande naturelle par "tout ou rien" à partir d'une horloge séparée ou intégrée dans un microprocesseur), présente un certain nombre d'inconvénients comme

- la limitation du couple de démarrage
- des instabilités de fonctionnement à certaines fréquences
- des accélérations relativement modestes

### 1.2.9. Système vis écrou

Le système de vis écrou est l'un des systèmes qui transforme le mouvement de rotation de vis en un mouvement de translation d'écrou.

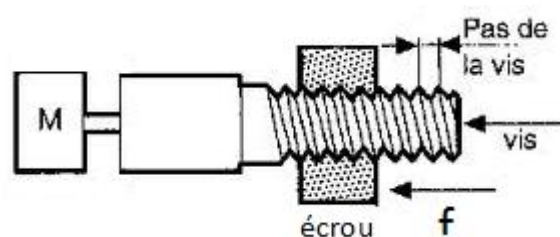


Figure 1.8. System vis écrou.

La vis est fixée sur l'arbre moteur, l'écrou se déplace sur la vis, grâce à une force résistance  $f$  parallèle à son déplacement l'écrou se déplace sur la vis d'un pas, une glissière guide l'écrou afin d'imposer le mouvement de translation et d'empêcher l'écrou de suivre le mouvement de rotation de la vis.

Si l'arbre moteur tourne d'un angle  $\alpha$ , l'écrou parcourt la distance :

$$D = r\alpha / 2\pi$$

Ce qui prouve que la conversion du mouvement de rotation a un mouvement de translation permet d'avoir une très grande précision.

En dérivant  $D$ , on obtient une relation entre la vitesse linéaire  $v$  de l'écrou et la vitesse angulaire  $w$  du moteur :

$$V = rw / 2\pi$$

Le rendement mécanique est défini par :

$$\mu = fV / \epsilon w$$

Ce qui donne :

$$\epsilon = fr / 2\pi$$

$f$  : la force exercée par la vis sur l'écrou

$\epsilon$  : le couple résistant exercé par la vis sur le moteur.



## 1.3. Partie B : étude optique

## 1.3.1. généralités :[2]

## a le miroir

Un miroir est une surface polie servant à réfléchir la lumière de manière à obtenir une image. Un miroir est plan lorsqu'il n'est pas courbé.

## b l'image d'un miroir plan

L'image formée par un miroir plan est virtuelle et est située derrière le miroir à une distance égale à la distance entre le miroir et l'objet. Cette image est inversée (gauche-droite), mais pas renversée (haut-bas). Une image est virtuelle lorsqu'elle est formée à l'intersection du prolongement des rayons réfléchis. Une image est réelle lorsqu'elle est formée à l'intersection des rayons réfléchis eux-mêmes. L'image réelle peut être projetée sur un écran, contrairement à l'image virtuelle.

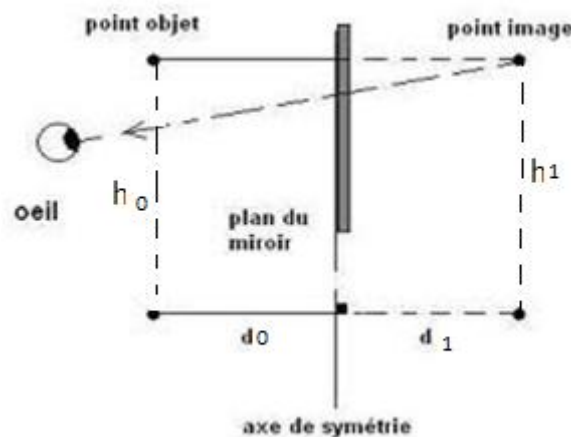


Figure 1.9. Image d'un miroir plan.

L'image produite par un miroir plan est de même grandeur que l'objet ( $h_1 = h_0$ ) et à une distance derrière le miroir égale à la distance entre l'objet et le miroir ( $d_1 = d_0$ ).

## 1.3.2. Lois de la réflexion

## a définition

- ✓ Le rayon incident est un rayon de lumière qui se dirige vers la surface réfléchissante.
- ✓ Le rayon réfléchi est le rayon de lumière qui s'éloigne de la surface réfléchissante après avoir subi une réflexion.
- ✓ La normale à la surface est une droite perpendiculaire à la surface réfléchissante et située au point d'impact du rayon incident sur la surface.

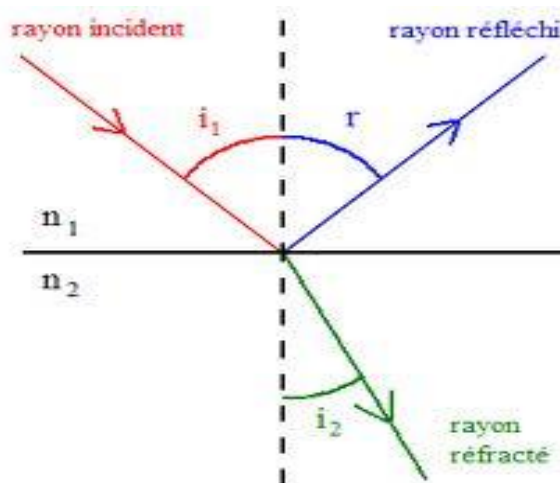


Figure 1.10. Le rayon réfléchi du miroir.

## b première loi de la réflexion

Le rayon incident, la normale à la surface réfléchissante et le rayon réfléchi se trouvent tous trois dans le même plan.

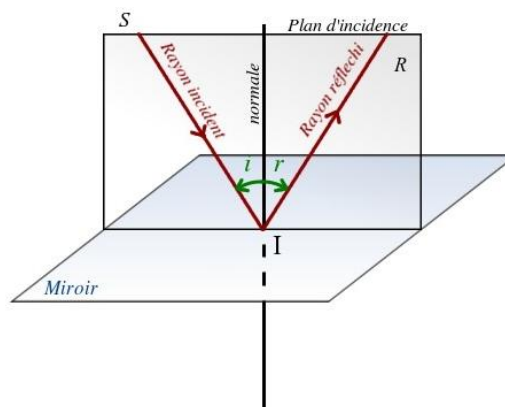


Figure 1.11. Première loi de réflexion.

c deuxième loi de la réflexion

L'angle entre le rayon incident et la normale à la surface (l'angle d'incidence) est égal à l'angle formé par la normale et le rayon réfléchi (l'angle de réflexion). Ces lois fondamentales de l'optique géométrique seront utilisées dans la section 2.5 pour établir les équations qui régissent les relations entre les différents déplacements (translations et rotations) de notre mécanisme.

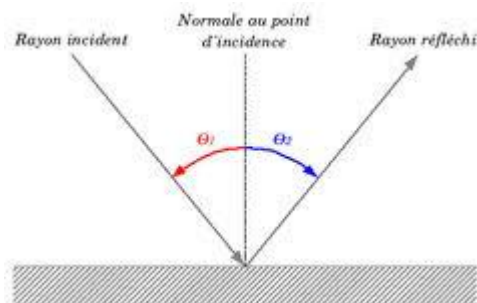


Figure 1.12. Deuxième loi de réflexion.

## 1.4. Partie C : FPGA :[3]

### 1.4.1. Définition

Les FPGA (Field Programmable Gate Arrays ou "réseaux logiques programmables") sont des composants entièrement reconfigurables ce qui permet de les reprogrammer à volonté afin d'accélérer notablement certaines phases de calculs. L'avantage de ce genre de circuit est sa grande souplesse qui permet de les réutiliser à volonté dans des algorithmes différents en un temps très court.

Le progrès de ces technologies permet de faire des composants toujours plus rapides et à plus haute intégration, ce qui permet de programmer des applications importantes. Cette technologie permet d'implanter un grand nombre d'applications et offre une solution d'implantation matérielle à faible coût pour des compagnies de taille modeste pour qui, le coût de développement d'un circuit intégré spécifique implique un trop lourd investissement.

### 1.4.2. Application

Les FPGA sont utilisés dans de nombreuses applications, on en cite dans ce qui suit quelques unes:

- Prototypage de nouveaux circuits
- Fabrication de composants spéciaux en petite série
- Adaptation aux besoins rencontrés lors de l'utilisation
- Systèmes de commande à temps réel
- DSP (Digital Signal Processor)
- Systèmes embarqués
- Systèmes industriels
- Robotique .....

### 1.4.3. Architecture des FPGA

Les circuits FPGA sont constitués d'une matrice de blocs logiques programmables entourés de blocs d'entrée sortie programmable. L'ensemble est relié par un réseau d'interconnexions programmable Figure 1.13.

Les FPGA sont bien distincts des autres familles de circuits programmables tout en offrant le plus haut niveau d'intégration logique.

Il existe actuellement plusieurs fabricants de circuits FPGA et plusieurs technologies et principes organisationnels. L'architecture, retenue par Xilinx, se présente sous forme de deux couches Figure 1.13:

- Une couche appelée circuit configurable.
- Une couche réseau mémoire SRAM.

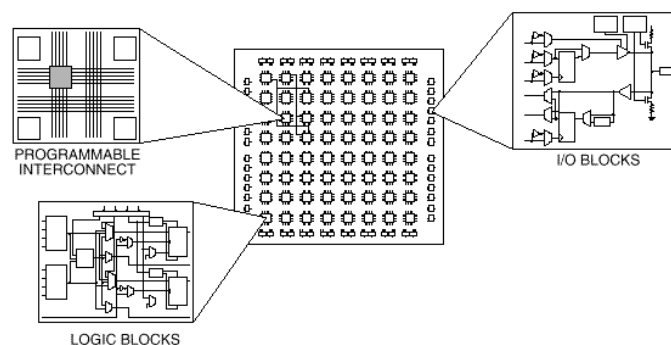


Figure 1.13. Architecture interne de FPGA.

### 1.4.4. Les outils de développement des FPGA

Les outils de développement permettent au concepteur de programmer le circuit à partir de la description de la fonction à réaliser. Cette description peut être textuelle dans ce cas on utilise généralement des langages de développement : le Verilog et le VHDL. Cette description peut aussi être graphique et ce au moyen de chronogrammes, de graphes d'état et de symboles de fonction.

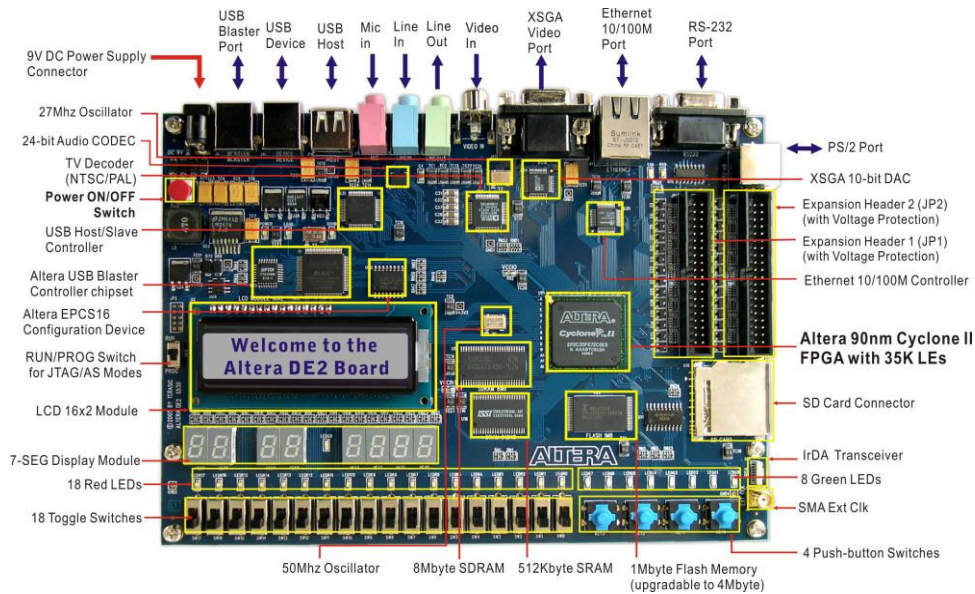


Figure 1.14. carte de développement altera DE2.

### 1.4.5. Les avantages et les inconvénients des FPGAs

#### a Les avantages des FPGAs

- Délai de conception.
- Reconfiguration à chaud.
- Prototypage rapide.
- Délai de fabrication.
- Facilité de test.

#### b Les inconvénients des FPGAs

- Prix unitaire trop élevé pour la très grande série.
- Performance électriques inférieures aux puces spécialisées (notamment en fréquence).
- Faible taux d'utilisation du circuit.

## 1.5. Conclusion

On a présenté dans le chapitre I les différentes généralités dont on a besoin dans notre projet, en commençant par les moteurs pas à pas qui sont nécessaires et ensuite présenté les différentes lois de réflexion de lumière sur un miroir plan, et présenté ensuite l'utilité de circuit FPGA.

Selon le besoin, l'utilisateur peut choisir le moteur qui lui convient à son application, avec l'alimentation et le mode d'excitation correspondant. Pour notre projet, on a opté pour deux moteurs à aimant permanent, unipolaire, Mode monophasé. Ils sont dotés de System vis écrou pour faire subir des rotations d'angles très faibles au miroir (rotation autour d'une axe vertical pour déplacer le rayon en x, et autour d'une axe horizontal pour déplacer le rayon en y).le chapitre suivant présente le system opto-électromécanique que nous avons conçu pour la commande par circuit FPGA, nous avons opté pour le cyclane II d'altéra monté sur la carte FPGA. Nous utilisons le langage VHDL pour générer le code du circuit de commande qui sera implanté sur FPGA.

## 2.1. Introduction

L'objectif de notre mécanisme est de positionner le rayon réfléchi de la source lumineuse sur une surface de  $1 \text{ cm}^2$  de l'œil, avec une précision de déplacement de  $1/16 \text{ cm}$  sur les deux axes x et y.

Dans notre mécanisme, un rayon lumineux, émis par une source laser fixe, est incident sur un miroir placé face à la source. La rotation du miroir selon les deux axes vertical, et horizontal, permet de positionner le rayon réfléchi au point X et Y (respectivement) de la rétine.

Nous allons déterminer Dans ce chapitre les équations optiques qui définissent les angles de rotation autour d'un axe horizontal, et vertical d'un miroir, par l'actionnement de deux moteurs. Nous décrivons les étapes de conception par SolidWorks.

## 2.2. Étude optique du mécanisme

Notre mécanisme doit assurer une rotation autour d'un axe vertical ou horizontal du miroir pour le déplacement du rayon réfléchi en X ou Y sur la rétine.

### 2.2.1. Choix de position de la source lumineuse

- Le point d'incidence sur l'axe de rotation du miroir

Dans ce cas on a placé la source lumineuse en face à l'axe de rotation du miroir.

Quand le moteur est actionné la vis va se déplacer d'une distance (Y) et faire tourner le miroir d'un angle  $\theta$ , on va chercher la relation entre Y (déplacement du miroir) et Y1 (déplacement du rayon réfléchi), voir la figure (2.1)

Avant la rotation du miroir le rayon incident est confondu avec le rayon réfléchi puisque la source est perpendiculaire au miroir.



## 2.2.2. Calcul les équations optiques

Quand le miroir tourne d'un angle  $\theta$  le rayon lumineux est réfléchi d'un angle  $\beta$ .

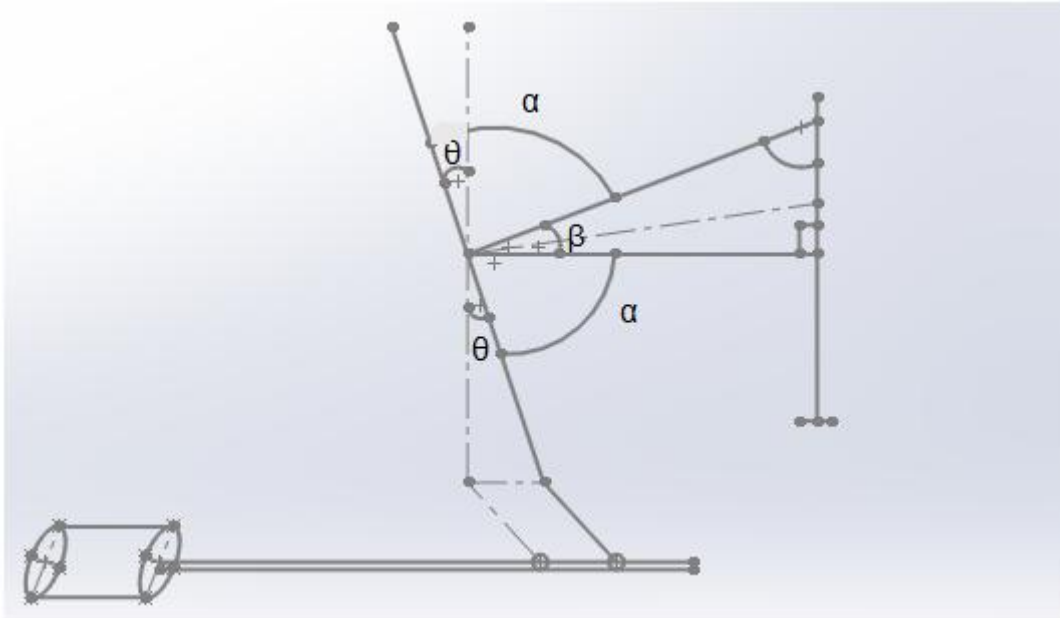


Figure 2.1.Vue latérale du mécanisme.

D'après le schéma on a :

$$\alpha + \theta = \pi / 2$$

$$\alpha + (\beta/2) = \pi / 2$$

$$\beta = 2 * \theta$$

Quand le miroir tourne d'un angle  $\theta$  le rayon incident se déplace avec un angle de  $2\theta$  et on aura ( $NN_1 + Y_0 = Y_1$ ) la distance de déplacement sur la cible (figure 2.2).

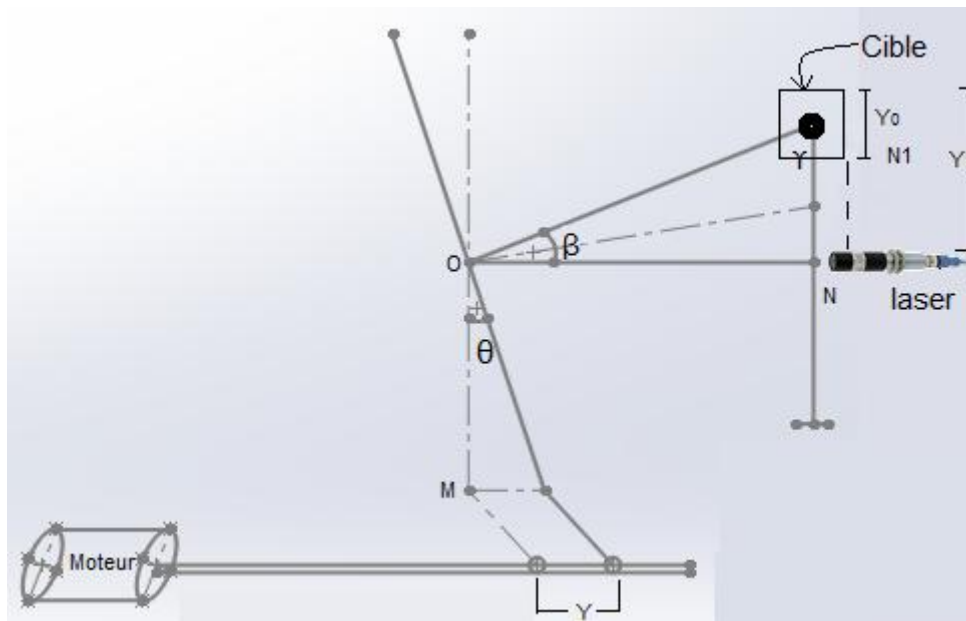


Figure 2.2. Vue latérale du mécanisme (dimensionnement et laser).

Dans ce cas la source est toujours perpendiculaire à l'axe de rotation mais cette fois ci le point d'incidence est sur l'axe de rotation.

D'après le schéma (fig2.2) on a :

Cherchons la relation  $Y = f(Y_0)$  par rapport à l'axe (OY)

$$\text{Tang}(\beta) = Y_1 / (ON)$$

$$\text{Tang}(\theta) = Y / (OM)$$

On sait que :

$$\theta = \arctang(Y / (OM))$$

$$\beta = \arctang(Y_1 / (ON))$$

$$\theta = \beta / 2$$

$$Y = \text{Tang}(\theta) * OM$$

Donc :

$$\theta = [ \text{arctang} (Y1/(ON)) ] / 2$$

$$Y = \text{Tang}([ \text{arctang} (Y1/(ON)) ] / 2) * OM$$

La loi de vis écrou :

$$Y = (p \cdot \alpha) / 2 * \pi$$

Donc :

$$\alpha = (2 * \pi * Y) / p$$

$$360^\circ \longrightarrow 20 \text{ pas}$$

$$\alpha \longrightarrow np = ? \text{ pas}$$

$$np = (\alpha * 20) / 360$$

$\alpha$  : l'angle de rotation de moteur pas a pas

$p$  : pas de la vis ( $p=0.3 \text{ mm}$ )

$np$  : nombre de pas.

### *Remarque*

Puisque les principes de commande des mécanismes de rotation par rapport aux deux axes OX et OY sont identiques, nous appliquerons les résultats de l'étude par rapport à l'axe OY à celle par rapport à l'axe OX. Il suffit pour cela de remplacer Y par X.

## Résultats

Le choix de la disposition de la source lumineuse, ainsi que la position du point d'incidence par rapport aux axes de rotation est fortement lié au comportement des équations de commande ( $Y=f(Y_0)$ ,  $X=f(X_0)$ ).

Donc pour le cas où le rayon d'incidence de la source lumineuse est perpendiculaire à l'axe de rotation du miroir on trouve des équations simples à manipuler.

$Y = \text{Tang}([\arctang((Y_1/(ON))] / 2) * OM \dots \dots \dots \text{par rapport à l'axe OY}$

$X = \text{Tang}([\arctang((X_1/(ON))] / 2) * OM \dots \dots \dots \text{par rapport à l'axe OX}$

Ce qui nous donne une simplicité de commande de notre système.

Donc la meilleure position de la source lumineuse pour notre mécanisme c'est qu'elle soit perpendiculaire à l'axe de rotation.

## 2.3. Présentation et préparation de solidworks

SolidWorks est un logiciel de CAO. (Conception Assistée par Ordinateur) Il a été créé en 1993. C'est une application de conception mécanique 3D paramétrique qui permet aux concepteurs d'esquisser rapidement des idées, d'expérimenter des fonctions et des cotes afin de produire des modèles et des mises en plan précises. Il est relativement facile à utiliser et à prendre en main, et est également très répandu dans les collèges et lycées, et dans les filières technologiques, où les élèves et étudiants l'utilisent pour les sciences de l'ingénieur et La technologie.

### 2.3.1. Les fonctions principales que propose SolidWorks

- Les esquisses
- La modélisation volumique
- La modélisation surfacique
- La tôlerie
- L'assemblage

Puisque le système de mécanisme présent a la mal fonctionnement, on a pensé à la réaliser sous un outil de modalisation.

On a choisie Solidworks car nous pouvons:

- Créer rapidement des mises en plans 2D précis
- Accélérer la conception en 3D
- Tester notre conception dans des conditions réelles

On présente les déférant éléments du mécanisme

- Miroir
- 2 Motors pas à pas
- 2 glissant
- 2 plaques (inferieur et supérieur)
- 4 cardans

Chaque élément est réalisé individuellement dans un fichier spécifique, après on a assemblé les éléments de la plaque inferieure suivi par les éléments de la plaque supérieure, puis on a procédé à l'assemblage du système complet.

Après, l'assemblage et la compilation du mécanisme le logiciel indique chaque défaut dans les normes au niveau des équations optiques

pour avoir un bon rendement de laser on a rectifié ces cordonnées afin d'obtenir le faisceau lumineux perpendiculaire exactement à l'axe de rotation du miroir.

Notre mécanisme est composé deux plaque, Plaque supérieur et plaque inférieur

➤ Plaque inférieur

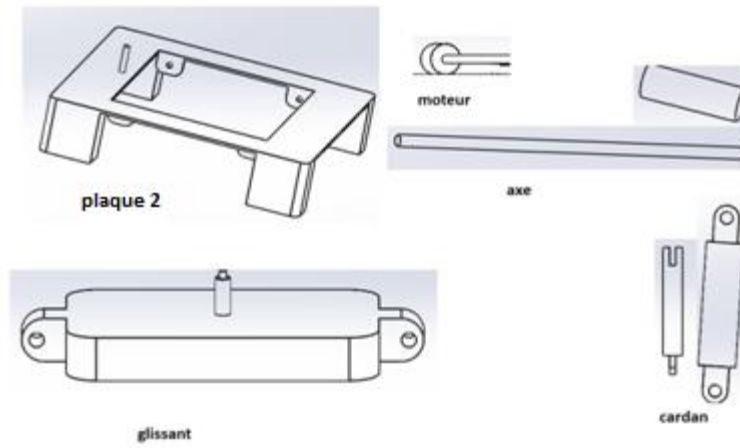


Figure 2.3. Les éléments de la plaque inférieur.

➤ Plaque supérieur

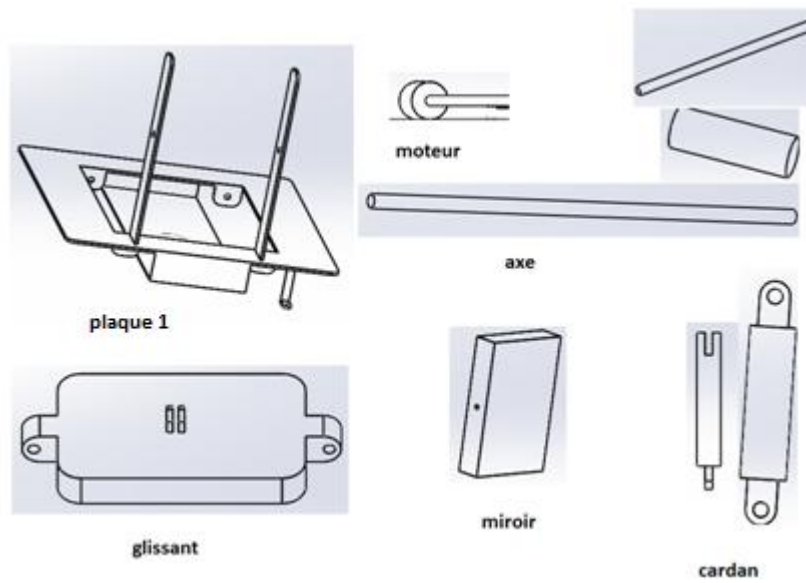


Figure 2.4. Les éléments de la Plaque supérieur.

## 2.4. Système des joints de cardans

Un joint de cardan permet la transmission d'un mouvement de rotation à deux arbres concourants. Il est composé de deux chapes 1a et 1b. Et d'un croisillon 2. Dans le module de la Figure (2.8.) la liaison chape-croisillon se fait par l'intermédiaire de quatre douilles à aiguilles 3.

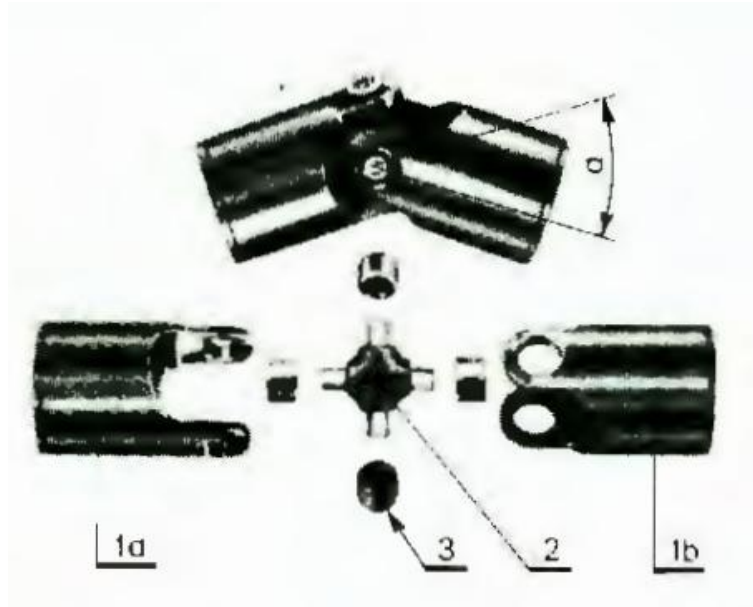


Figure 2.5.Photo Prud'homme.

### Remarque

- Il est conseillé de protéger les articulations par une gaine en matière plastique que l'on remplit de graisse au montage.
- les liaisons des arbres avec les chapes du cardan sont généralement réalisées par goupillage transversal.

## 2.5. Conception du mécanisme

Notre mécanisme est constitué essentiellement de :

a La plaque 1

C'est un support mobile qui tourne autour de son centre, il est composé de :

- un Miroir : fixé horizontalement par son axe de rotation.

- Un Système vis écrou : muni d'un moteur 1 pas a pas, qui porte sur son arbre une vis et un écrou qui déplace le miroir grâce au joint de cardan.

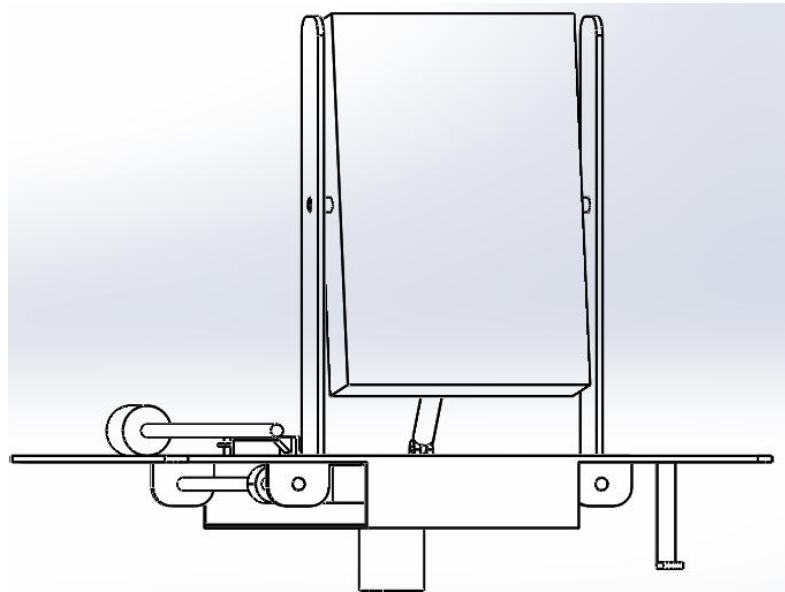


Figure 2.6. Assemblage de plaque 1.

#### b La plaque 2

C'est le support de base de l'ensemble du mécanisme, il est composé de :

- Un système vis écrou et le moteur 2 pas à pas, qui porte sur son glissant une vis et un écrou qui déplace toute la plaque 1 par un joint de cardan.
- la source de lumière : portée horizontalement sur la tige fixe, verticalement à la plaque 2.



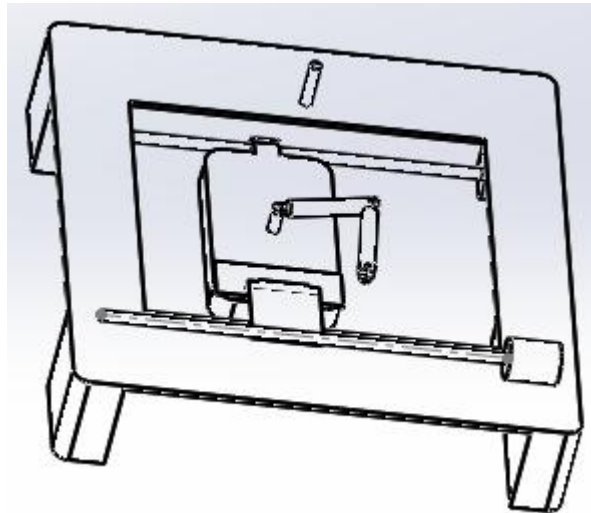


Figure 2.7. Assemblage de plaque 2.

### 2.5.1. Principe de fonctionnement du mécanisme

Le principe est simple, il suffit de commander notre miroir en  $y$  (en déplaçant le miroir autour de son axe vertical) et en  $x$  (en faisant tourner la plaque 1 autour de l'axe horizontal du miroir) et par réflexion de la source lumineuse en assurant le déplacement du rayon réfléchi de celui qu'elle émet sur notre cible.

Et pour bien comprendre le principe de fonctionnement de notre mécanisme, on présente notre étude mécanisme en deux parties. Dans la première partie (a) nous expliquons comment se fait le déplacement de la source lumineuse sur la cible par rapport à l'axe  $y$ ; et par rapport à l'axe  $x$  dans la deuxième partie (b).

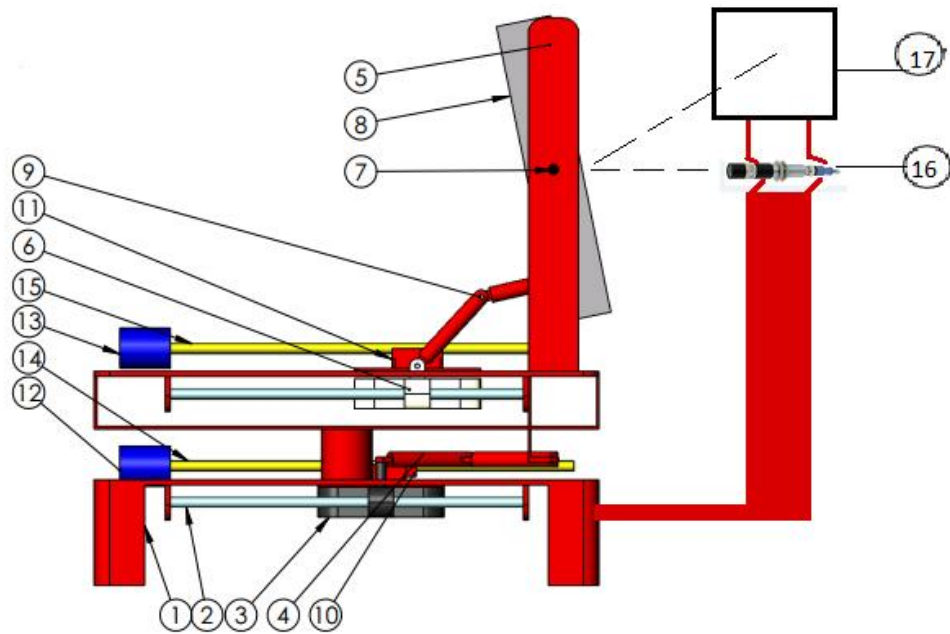


Figure 2.8. Assemblage général.

numéro	éléments
1	Plaque 2
2	Axe de plaque 2
3	Glissant de plaque 2
4	Cardan
5	Plaque 1
6	Glissant de plaque 1
7	Axe de miroir
8	miroir
9	Axe de cardan
10	écrou
11	écrou
12	Moteur 2
13	Moteur 1
14	vis
15	vis
16	lasser
17	cible

Tableau 2.1. Les éléments de mécanisme général.

a déplacement du rayon réfléchi selon l'axe y

Le déplacement de la source lumineuse par rapport à l'axe Y est assuré par le déplacement du miroir autour de son axe vertical par effet d'un système vis écrou monté sur la plaque (fig2.9).

Le moteur M2 assure à la fois un mouvement de rotation d'une vis montée sur son glissant et un mouvement de translation d'un écrou sur cette vis, ce mouvement de translation est assuré par une cardan qui joue le rôle d'un guide pour la vis, qui va glisser sur ce cardan et faire déplacer le miroir à l'aide du cardan qui est lié par ses extrémités à la vis et au miroir ; ce cardan a un degré de liberté avec la vis et un autre avec le miroir ce qui lui donne la mobilité et la possibilité de transporter le mouvement de translation de la vis au miroir.

Donc quand le moteur M2 tourne, la vis va se déplacer et le cardan va déplacer le miroir autour de son axe vertical et par conséquent le rayon réfléchi de la source lumineuse va se déplacer verticalement sur la cible.

b Déplacement du rayon réfléchi selon l'axe X

Le déplacement du rayon réfléchi de la source lumineuse par rapport à l'axe X est assuré par la rotation du miroir autour de son axe horizontal par l'effet d'un système vis écrou monté sur la plaque 2 (voir la figure 2.10).

Le même principe de vis écrou utilisé précédemment est utilisé mais dans ce cas on fait déplacer toute la plaque qui porte le miroir autour de son centre qui est sur l'axe horizontal du miroir.

Donc quand on met en marche le moteur M1, le miroir va se déplacer autour de son axe horizontal et par conséquent le rayon réfléchi de la source lumineuse va se déplacer horizontalement sur la cible.

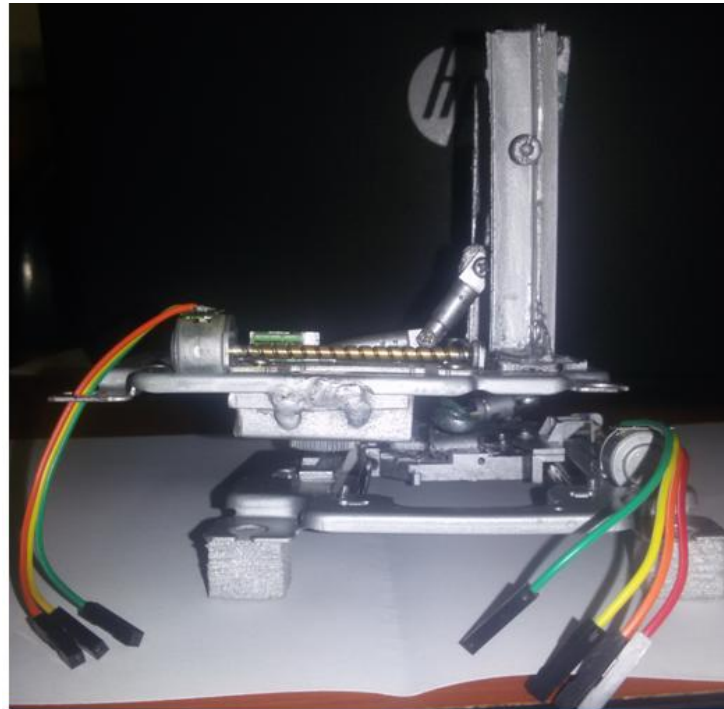


Figure 2.9. Mécanisme Vue de coté.

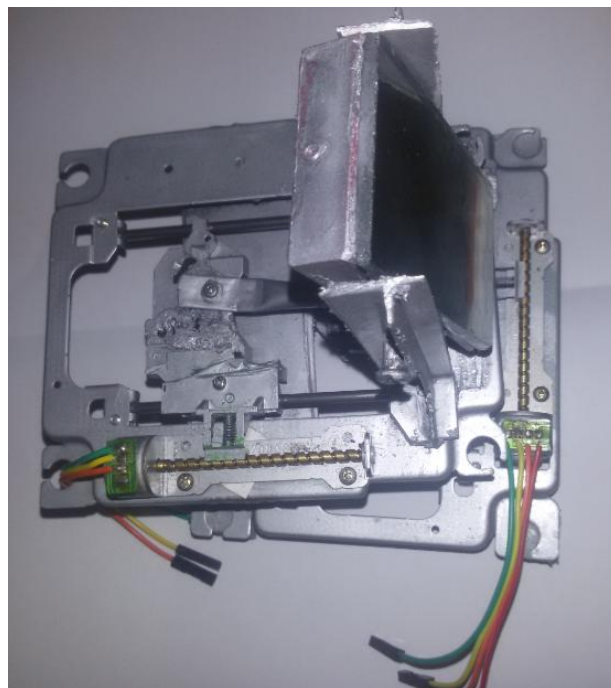


Figure 2.10. Mécanisme Vue de haut.

## 2.6. Conclusion

Nous avons élaboré dans ce chapitre la partie mécanique de notre projet ou nous avons exposé les systèmes mécaniques utilisés et le principe de fonctionnement de notre mécanisme basé sur un système optique, il nous reste à déterminer les fonctions de commande par circuit FPGA du mécanisme que nous allons décrire dans le chapitre suivant.

### 3.1. Introduction

Dans ce chapitre nous réalisons la carte de commande du mécanisme que nous avons conçu dans le chapitre 2.

Notre mécanisme est contrôlé par FPGA via une carte de puissance. Cette carte doit donc transformer le signal continu qu'elle reçoit en 4 signaux rectangulaires et décalés nécessaires pour faire tourner le moteur. Par ailleurs il faut qu'il soit possible par le biais de cette carte de régler la vitesse et le sens du moteur, ainsi que son état (marche/arrêt).

Dans ce chapitre nous présentons la réalisation de la carte de puissance conçue autour du circuit spécialisé L293D. Pour notre mécanisme nous avons besoin deux carte de puissance car le mécanisme consiste utilise deux moteurs pas à pas.

Nous présentons également les étapes de conception du circuit de commande que nous avons implanté sur le circuit FPGA Cyclone II d'Altera sur la carte DE2 par description VHDL sous le logiciel QUARTUS 2



Figure 3.1. Schéma synoptique.

### 3.2. Présentation et brochage du circuit L293D :[4]

“Le L293D un circuit intégré monolithique, à haut voltage, grand courant, 4 canal pilote.” Cela veut dire que ce circuit intégré peut être utilisé pour deux moteurs DC ou un moteur pas à pas et alimentation jusqu'a 36 Volts (ce sont déjà des jolis petits moteurs) et que le circuit peut fournir un maximum de 600mA par canal. Le L293D est aussi connu pour être une sorte de Pont-H. Typiquement, un pont H est un circuit électrique qui permet d'appliquer une tension en sortie sur une charge dans une direction ou l'autre. Par exemple, un moteur.

Cela signifie principalement que vous pouvez inverser la direction du courant et donc renverser le sens de rotation du moteur. Le principe de fonctionnement est basé sur 4 éléments du circuit communément nommés contacts et identifiés comme suit: Haut Côté Gauche, Haut Côté Droit, Bas Côté Droit et Bas Côté Gauche. En utilisant différentes combinaisons de fermetures, il est possible de démarrer, Stopper ou Inverser le courant.

Il est possible de faire ce montage à partir de relai mais il est plus simple d'utiliser un Circuit Intégré - Le L293D est double Pont-H convenable avec 1 Pont-H de chaque côté du circuit (soit un Pont-H par moteur).

La seule chose à laquelle il faut faire attention dans tout cela, ce sont les 2 broches d'entrée (Input Pins) qui commandent la logique pour chaque moteur.

Le plus important pour nos besoins, c'est que ces entrées peuvent être commandées depuis une carte à microcontrôleur (un Board Arduinou un pic) pour vérifier leur état de fonctionnement, et être surs de pouvoir les utiliser avec le circuit FPGA.

Il n'est pas vraiment nécessaire de se préoccuper de la régulation de la tension parce que le L293 accepte deux sources de tensions. Une source d'alimentation directe (jusqu'à 36 Volts) pour alimenter les moteurs.

Une autre source de tension (5 Volts) pour alimenter la logique du circuit intégré. Cette alimentation peut provenir directement de la carte à microcontrôleur. Puisque l'alimentation de notre moteur est de 6 Volts, Je vais directement l'utiliser.

La seule chose dont il faut se souvenir, c'est qu'il faut raccorder ensemble la masse (GND) de la carte à microcontrôleur et celle de l'alimentation externe. La masse doit être commune entre les alimentations de la carte à microcontrôleur et du Pont-H.

## 3.2.1 Le brochage

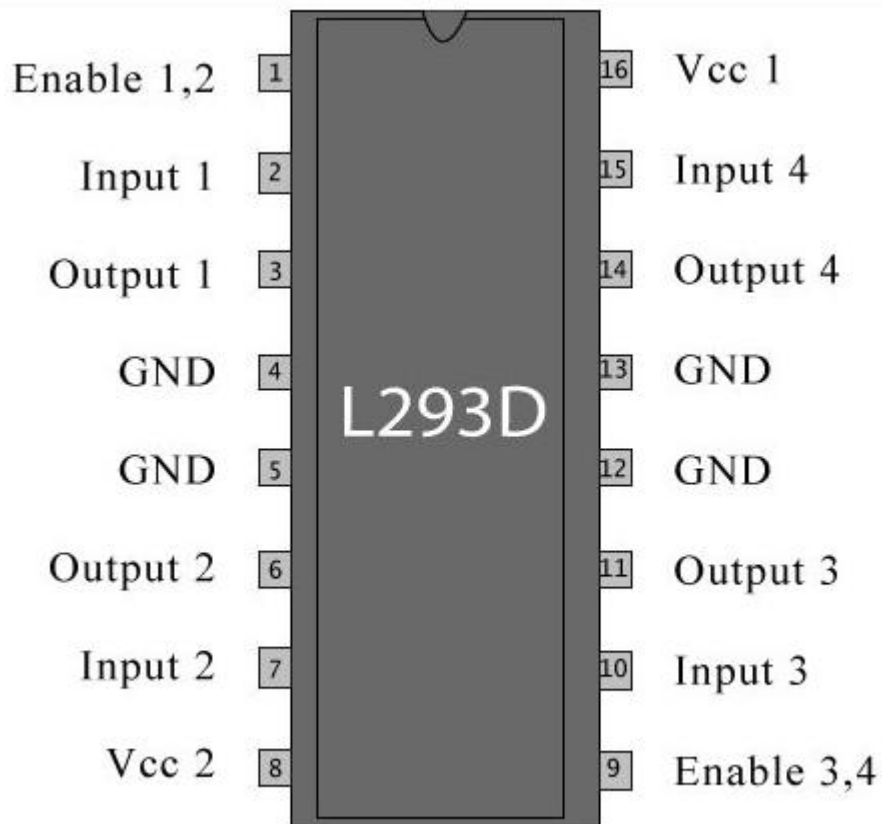


Figure 3.2. Brochage de circuit L293D.

Vcc1 - Alimentation de la logique de commande (5V).

Vcc2 - Alimentation de puissance des moteurs.

GND - Doit être raccordé à la masse (GND) de la source d'alimentation de puissance VS (donc le négatif de l'accumulateur) et à la masse de la source d'alimentation de VSS. Si vous n'avez qu'une source d'alimentation pour le tout, c'est forcément plus simple.



OUTPUT1, OUTPUT2 - Broches à raccorder à la charge (le moteur). C'est via ces broches de INPUT1, INPUT2 - Broche de commande du Pont-H.

ENABLE1,2 - permet d'envoyer (ou pas) la tension sur les sorties du moteur via OUTPUT1 & OUTPUT2.

ENABLE1,2 commande l'activation du premier Pont-H.

Si ENABLE1,2 = GND, le pont-H est déconnecté et le moteur ne fonctionne pas.

Si ENABLE1,2 = VSS, le pont-H est connecté aux sorties et le moteur fonctionne dans un sens ou l'autre ou pas en fonction des tensions appliquées sur INPUT1 & INPUT2

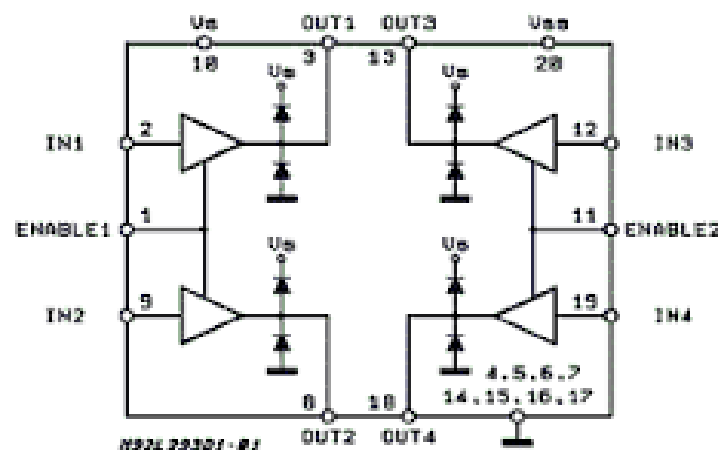


Figure 3.3. Structure interne de circuit L293D.

## 3.2.2. Brochage pour moteur pas à pas 4 fils

Commençons par les 16 pins sur le L293D et tout ce qui doit y être raccordé.

pin	Fonctionnement	nom
1	Active/désactive le moteur peut importe qu'il soit en marche ou non (High ou Low).	ENABLE 1,2
2	Contrôle logique du moteur (INPUT qui est soit High ou Low)	Input 1
3	Est connecté au premier fil du moteur	Output 1
4	GND	GND
5	GND	GND
6	Est connecté au deuxième fil du moteur.	Output 2
7	Contrôle logique du moteur (INPUT qui est soit High ou Low)	Input 2
8	Alimentation de puissance du moteur. Devrait assumer la charge en courant (et la tension) pour le moteur.	VCC 2
9	Active/désactive le moteur.	ENABLE 3,4
10	Contrôle logique du moteur (INPUT qui est soit High soit Low)	Input 3
11	Est connecté au troisième fil du moteur.	Output 3
12	GND	GND
13	GND	GND
14	Est connecté au quatrième fil du moteur.	Output 4
15	Contrôle logique du moteur (INPUT qui est soit High soit Low)	Input 4
16	Alimentation du circuit intégré +5V.	VCC 1

Tableau 3.1. Brochage pour moteur pas à pas 4 fils.

### 3.3. La Réalisation de la carte

Avant la réalisation pratique nous avons utilisé le logiciel proteus pour la simulation de circuit.

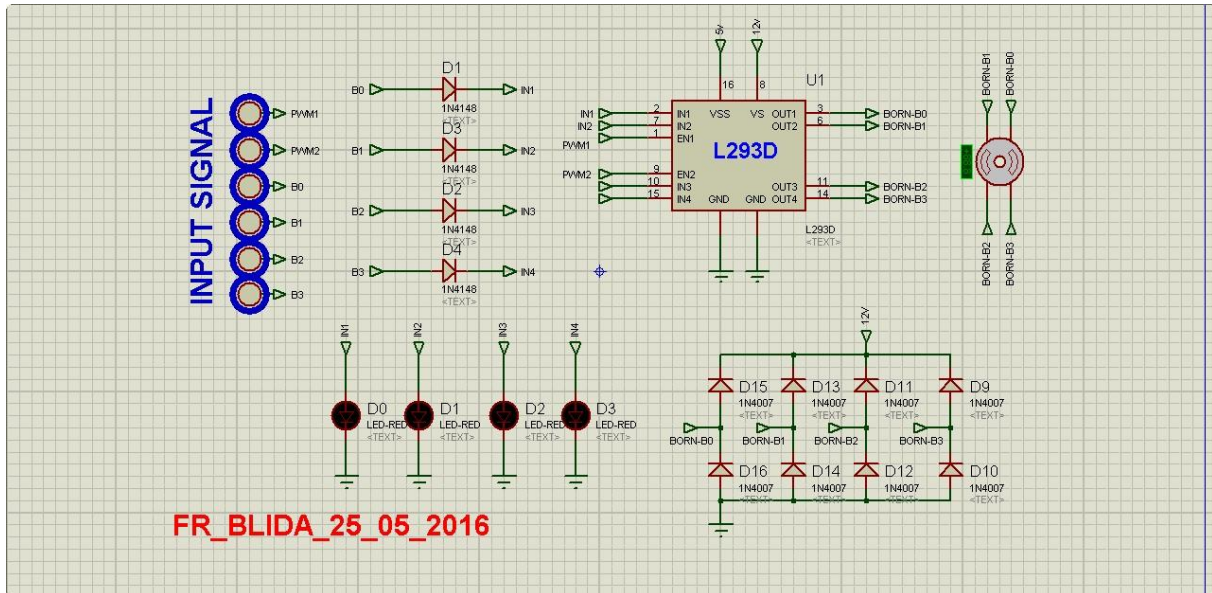


Figure 3.4. Schéma structurel de la carte.

Liste des composants utilisés :

- L293D pour la commande du moteur
- 8 diodes 1N4007 pour protégé le circuit L293D
- 4 diodes 1N4148 pour protégé le contrôleur FPGA
- 4 LED

Le L293D possède deux broches d'alimentation :

L'une pour le moteur 12V

L'autre pour la logique interne, +5V

Après toutes les étapes précédentes nous avons terminé la réalisation de la carte de commande.

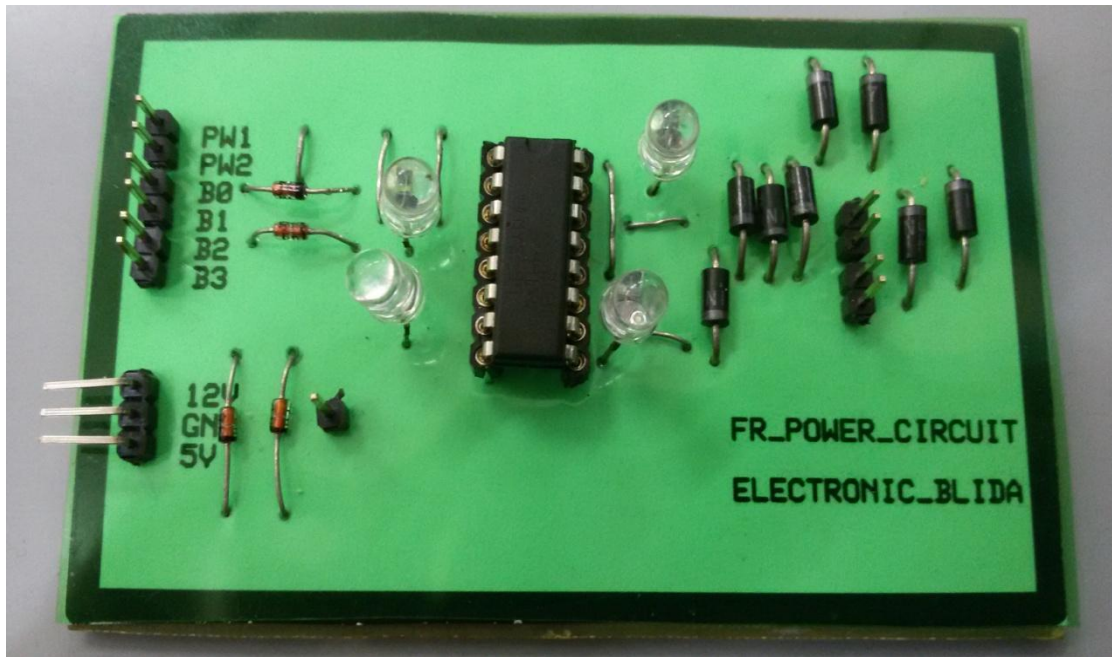


Figure 3.5. Carte terminée (coté composants).

## 3.3.1. Test fonctionnement des moteurs

Nous avons utilisé le pic 18F2550 Pour tester le fonctionnement des moteurs.



Figure 3.6. Le pic de teste.

Pour la rotation du moteur vers la droite il faut envoyer les séquences :

séquence	B0	B1	B2	B3
1	0	1	0	0
2	0	0	1	0
3	1	0	0	0
4	0	0	0	1

Tableau 3.2. Les séquences de rotation vers la droite.

Pour la rotation du moteur vers le gauche il faut envoyer les séquences :

séquence	B0	B1	B2	B3
1	0	0	0	1
2	0	1	0	0
3	0	0	1	0
4	0	1	0	0

Tableau 3.3. Les séquences de rotation vers le gauche.

### 3.4. Programmation par FPGA

Nous avons utilisé la carte FPGA altera DE2 pour envoyer les séquences qui commandent les deux moteurs de notre mécanisme.

En premier, nous montrons dans schéma bloc (fig3.9) les branchements des pins du DE2 avec le circuit L293D et ceux du L293 avec les moteurs.

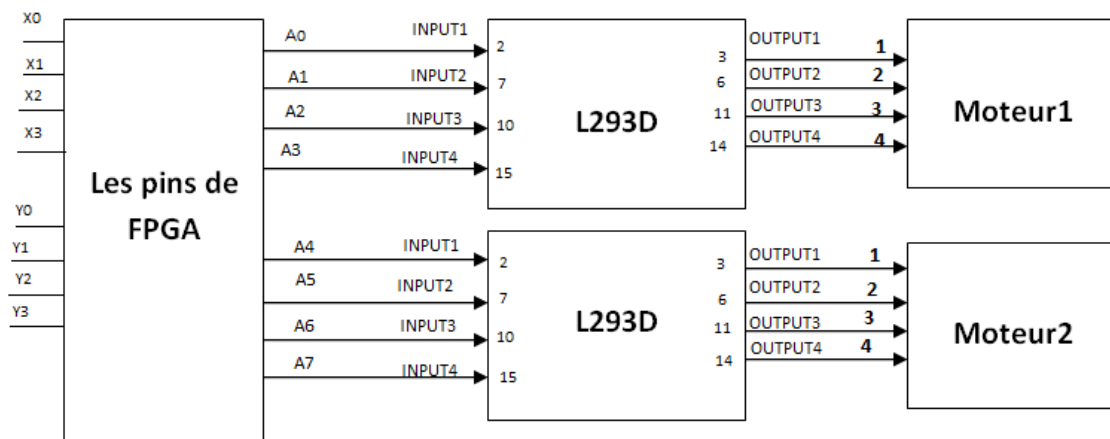


Figure 3.7. Les connexions entre le FPGA et le mécanisme.

Signal	Interface	Brochage sur FPGA KIT DE2
X0	SW0	PIN_N25
X1	SW1	PIN_N26
X2	SW2	PIN_P25
X3	SW3	PIN_AE14
Y0	SW4	PIN_AF14
Y1	SW5	PIN_AD13
Y2	SW6	PIN_AC13
Y3	SW7	PIN_C13

Tableau 3.4. Assignements de broches du FPGA aux boutons interrupteurs.

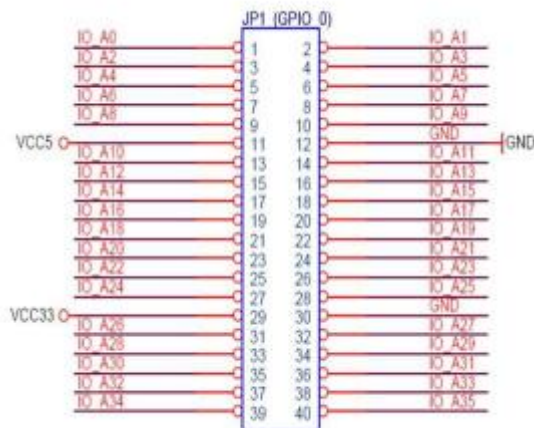


Figure 3.8. Brochage du connecteur GPIO 0 (40 broches).

Signal	Interface	Brochage sur FPGA KIT DE2
A0	GPIO_0[0]	PIN_D25
A1	GPIO_0[1]	PIN_J22
A2	GPIO_0[2]	PIN_E26
A3	GPIO_0[3]	PIN_E25
A4	GPIO_0[4]	PIN_F24
A5	GPIO_0[5]	PIN_F23
A6	GPIO_0[6]	PIN_J21
A7	GPIO_0[7]	PIN_J20

Tableau 3.5. Assignements de broches du FPGA aux boutons interrupteurs.

Après les branchements nous avons programmé le kit DE2 par Quartus II comme suit :

### 3.4.1. Création du projet

Ouvrir QUARTUS II, puis sélectionner « Createa New Project »

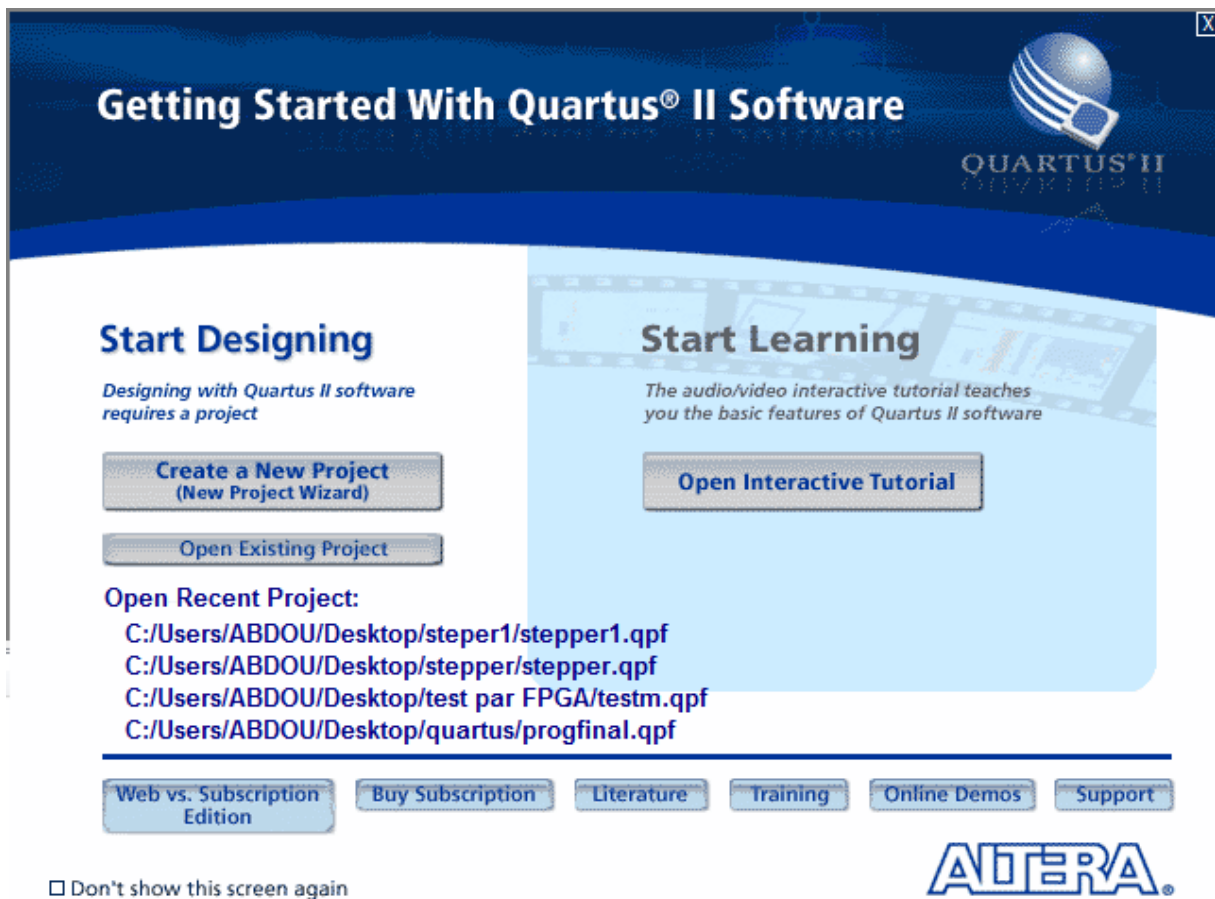


Figure 3.9. Fenêtre de création d'un projet.

Cliquer sur «New project wizard ». Le wizard (assistant) va nous guider dans la construction du projet.

Il est indispensable de structurer les projets dans des dossiers, l'outil QUARTUS générant un grand nombre de fichiers.



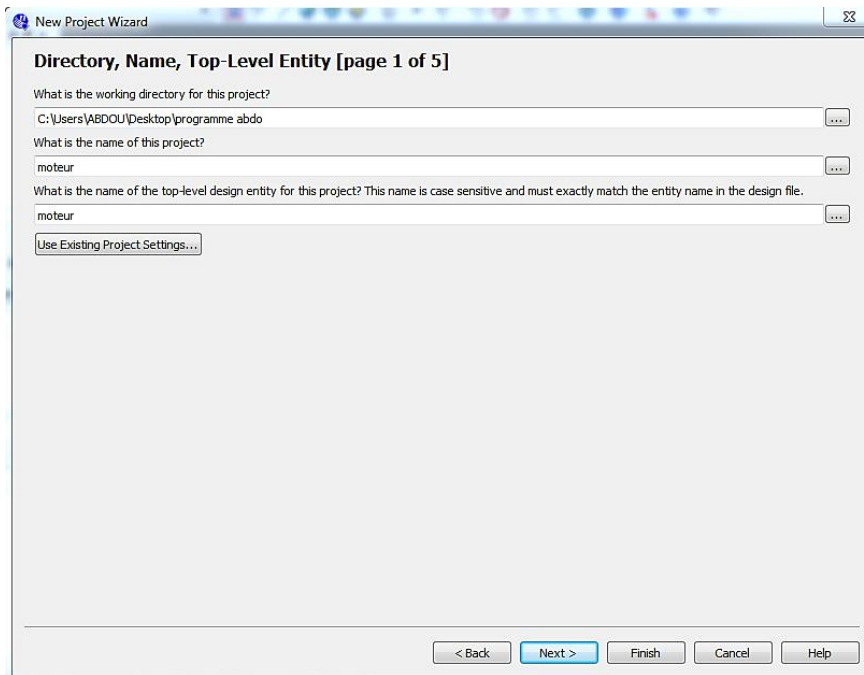


Figure 3.10. Choix dossier et le nom du projet.

Le dossier de travail contient le projet, fichiers et dossiers Le nom du projet sera celui du fichier contenant tous les paramètres du dossier. Cliquer « next »

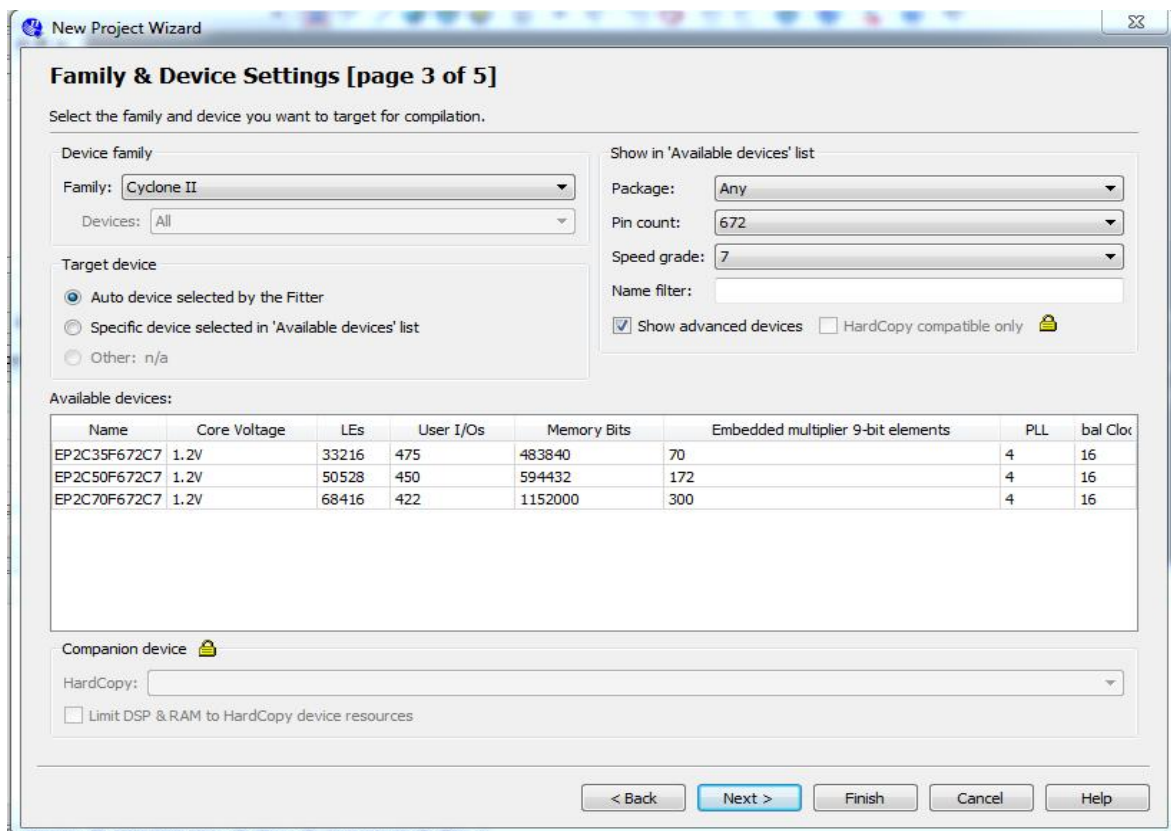


Figure 3.11. Choix de circuit cyclone II EP2C3F5672C7.

Cliquer sur « next » après cliquer sur « Finish ».

Le projet est créé et configuré, il est maintenant possible d'ajouter des fichiers de description schéma, VHDL ....

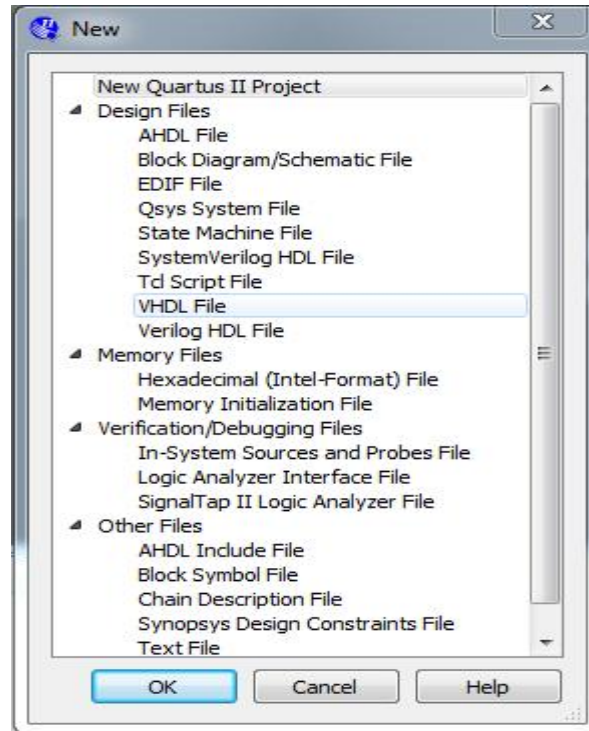



Figure 3.12. Choix de programme VHDL.

Cliquer  pour compiler le projet.

QUARTUS vérifie le schéma, crée un fichier VHDL correspondant, puis effectue un routage dans le FPGA cible. Il crée des rapports pour toutes les étapes de la compilation. Si tout est correct, La fenêtre de messages « Processing » indique : 0 errors, 9 warnings .

L'outil « PIN PLANER » permet d'attribuer des broches physiques à des entrées/sorties

On choisit les pins et les Switch qu'on va utiliser et pour ça :

Cliquer sur « Assignment – Pin Planer »

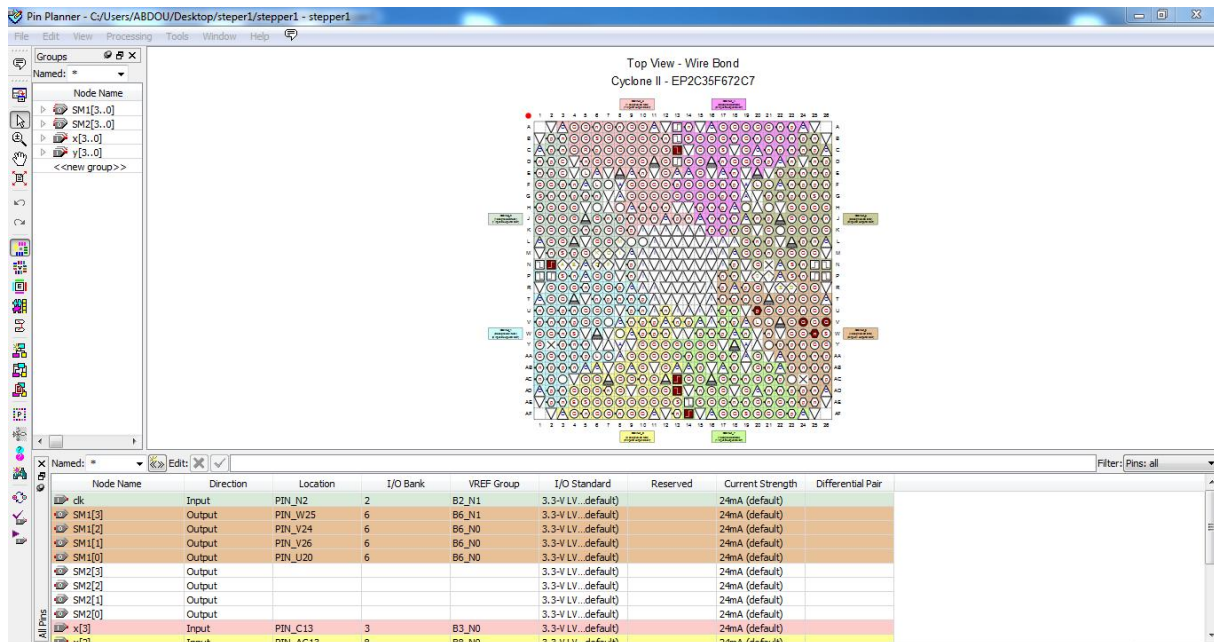



Figure 3.13. Choix des pins planer .

Pin Planer affiche un plan de câblage du FPGA et permet l'assignement des entrées/sorties

### 3.4.2. Recompilation du projet

On place un câble entre l'USB Blaster Port du KIT DE2sur un port USB du PC (installer le driver de l'USB Blaster auparavant).

On alimente le KIT et on appuye sur le bouton ON/OFF, (L'application par défaut du KIT teste les LEDs et les afficheurs).

Puis on clique sur  pour programmer le circuit FPGA.

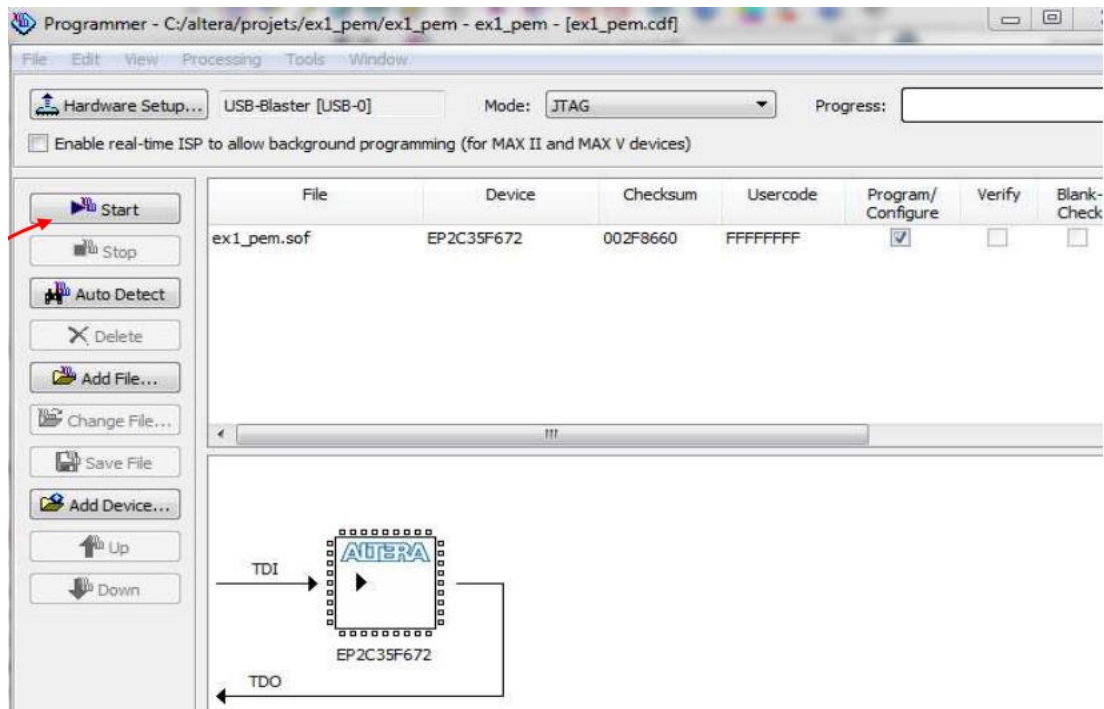


Figure 3.14. Programmation de circuit.

Normalement le programmeur « USB-Blaster » est automatiquement détecté. Dans le cas contraire, cliquer sur « Hardware Setup» sélectionner « USB-Blaster » puis Add Hardware.

Cliquer Start, le FPGA est programmé.

### 3.5. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons exposé la carte commande des deux moteurs pas à pas, et le principe de fonctionnement de circuit L293D.

Nous avons détaillé dans ce chapitre les branchements des pins de circuit altera DE2, en suite la méthode de programmation de circuit FPGA kit DE2 par QUARTUS II.

Après la programmation nous avons testé la carte de puissance avec les moteurs, donc il n'y'a aucun problème avec la carte de puissance et le fonctionnement des moteurs. Dans le chapitre suivant nous exposons la description VHDL, sa simulation, et l'implantation du circuit sur FPGA, puis nous présentons les résultats de test de notre circuit de commande sur notre mécanisme.

## 4.1. Introduction

Dans ce chapitre nous avons cité les algorithmes et les résultats de simulation de notre programme (VHDL).

Ensuite nous présentons l'implémentation VHDL dans le circuit FPGA pour programmer notre mécanisme, et enfin nous expliquerons les résultats pratiques de notre projet.

## 4.2. Description VHDL du circuit de commande du dispositif

Nous disposons de deux moteurs à commander, pour le déplacement du rayon réfléchi selon  $x$ , et selon  $y$  respectivement. La commande selon  $y$  étant la même que celle selon  $x$ , nous décrivons en détail l'implémentation pour la commande  $x$ , et nous appliquons le même principe pour la commande  $y$ .

Les deux circuits de commande seront décrits comme composants dans le circuit global (top module)

### 4.2.1. Description VHDL de la commande d'un moteur



Figure 4.1. schéma bloc.

```
Entity moteur 1 is
Port ( x : in STD_LOGIC_VECTOR (3 downto 0);
      clk: in std_logic;
      SM1 : out STD_LOGIC_VECTOR (3 downto 0));
End moteur 1;
```

Pour un déplacement X sur la cible le moteur X fait tourner le miroir d'un angle  $\theta$  en effectuant une rotation de np pas.

#### 4.2.1.1 Calcul du nombre de pas de rotation du moteur

Nous appliquons la formule :

$Y = \text{Tang}([\arctang(((NN1+Y0)/(ON))] / 2) * OM \dots \dots \text{par rapport à l'axe OY}$

$X = \text{Tang}([\arctang((X0)/(ON))] / 2) * OM \dots \dots \text{par rapport à l'axe OX}$

$$\alpha = (2 * \pi * Y) / p$$

$$\alpha = (2 * \pi * \text{Tang}([\arctang(((NN1+Y0)/(ON))] / 2) * OM) / p$$

$$np = (\alpha * 20) / 360$$

Montrant la relation entre le déplacement linéaire x du rayon réfléchi, et le nombre de pas de rotation du moteur. La bibliothèque IEEE de Xilinx ne contient pas cette fonction mathématique. Nous effectuons un développement limité afin de pouvoir l'implémenter en VHDL. Pour l'implémentation hard les nombres seront représentés en virgule fixe, nous incluons donc la bibliothèque IEEE\_proposed dans l'espace de bibliothèque ; avec le package sfixed\_pkg (libraries , clic droit, new vhdl library, name, file locations).

Développement limité de la formule mathématique :

Par rapport Y :

$$\alpha = ([Y_0 * [4 * (ON)^2 - 3 * (NN_1)^2] - Y_0^2 * 3 * (NN_1) - Y_0^3 - (NN_1)^3 + 4 * (ON)^2 * (NN_1)] / 4 * (ON)^3) * OM * \pi / p$$

Donc la même formule pour le X<sub>0</sub>. Il suffit pour cela de remplacer Y<sub>0</sub> par X<sub>0</sub>.

Nous utilisons les nombres en virgule fixe comme suit :

```

library ieee_proposed;
use IEEE_proposed.fixed_pkg.all;
entity tangante is
Generic(nb : INTEGER;
  nw: INTEGER)

Port map(
--np : out  sfixed (nb downto nw)
y0:in std_logic_vector(3 downto 0); ---intervale de la cible
np: out sfixed (7 downto 0));----nombre de pas

end tangante;
architecture Behavioral of tangante is
constant pi : sfixed (nb downto nw);--:= 3.1416;
constant p : sfixed (nb downto nw);--:= 0.0003; ----pas de vis en metre
constant NN1 : sfixed (nb downto nw);--:= 0.003; ----distance en metre
constant S : sfixed (nb downto nw);--:= 0.007; ---- ON=S distance en metre
signal z: sfixed (3 downto 0);----angle de rotation de moteur

begin
z<=([Y0*[4*(S)**2-3*(NN1)**2]-Y0**2*3*(NN1)-Y0**3-(NN1)**3+4*(S)**2*(NN1)]/4*(S)**3)* OM * pi/p);
np<=z/18;
end Behavioral;

```

Figure 4.2.Programme que calcul np.

Nous incluons dans le module (Figure 4.2.), un composant pour le calcul de np. La version de QUARTUS dont nous disposons est une version ; il n'est pas certain qu'elle acceptera la bibliothèque proposed.

#### 4.2.1.2 Description VHDL et organigramme de la commande

L'organigramme (figure) montre que :

- Si  $X1 > X2$  avec le front montant de l'horloge (clk) il faut envoyer les séquences ("0001"; "1000"; "0010"; "0100") pour tourner le moteur 1 vers le sens droite.
- Si  $X1 < X2$  avec le front montant de l'horloge (clk) il faut envoyer les séquences ("0100"; "0010"; "1000"; "0001") Pour tourner le moteur 1 vers le sens gauche.
- Si  $X1 = X2$  avec le front montant de l'horloge (clk) il faut envoyer les séquences ("0000") le moteur 1 ne tourne pas.

Le même principe est appliqué selon y

La figure (4.3.) montre la description VHDL

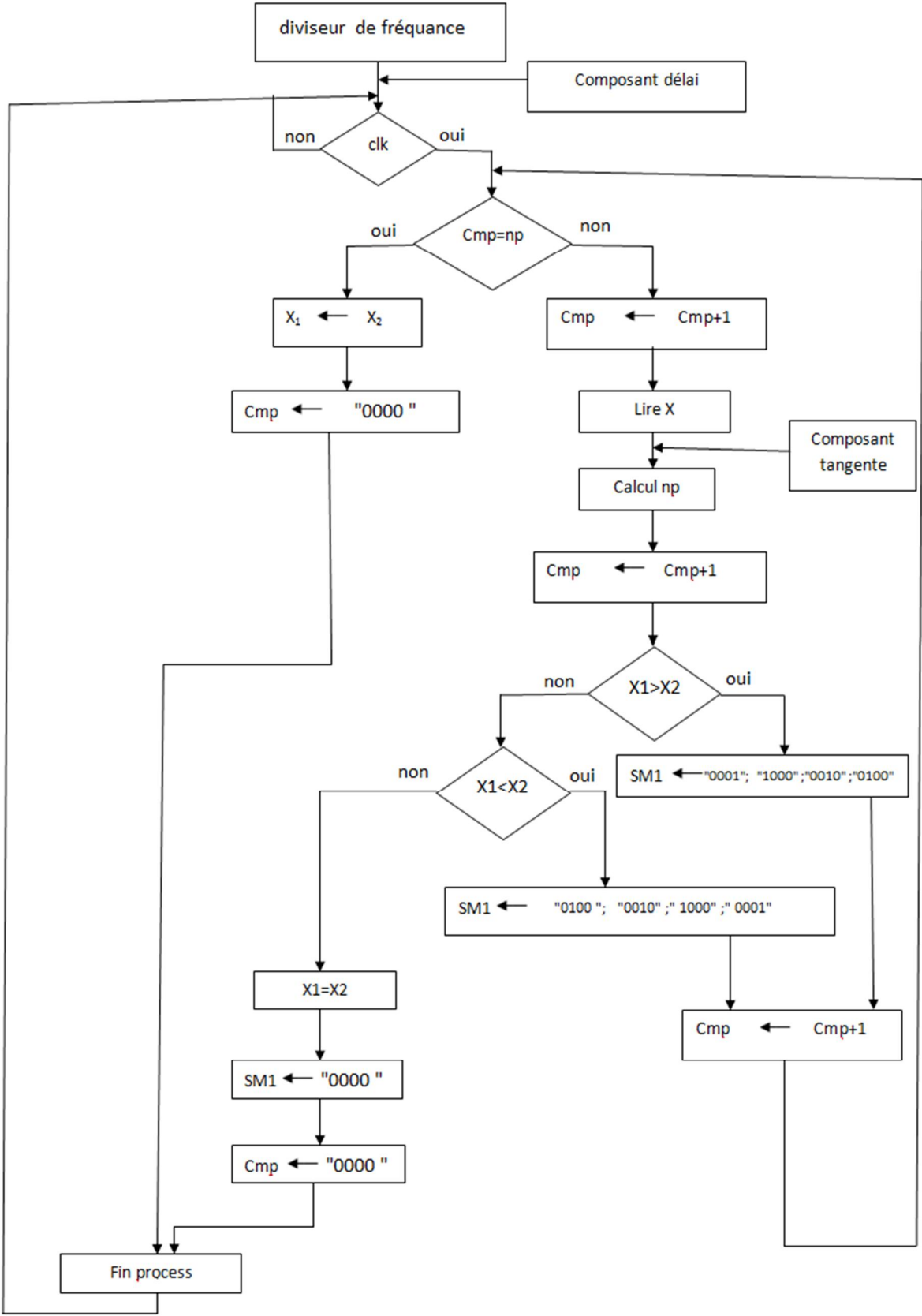


Figure 4.3.Organigramme.



Donc le même organigramme pour le Y. Il suffit pour cela de remplacer X par Y et SM1 par SM2.

#### 4.2.2. Description VHDL de la commande des deux moteurs

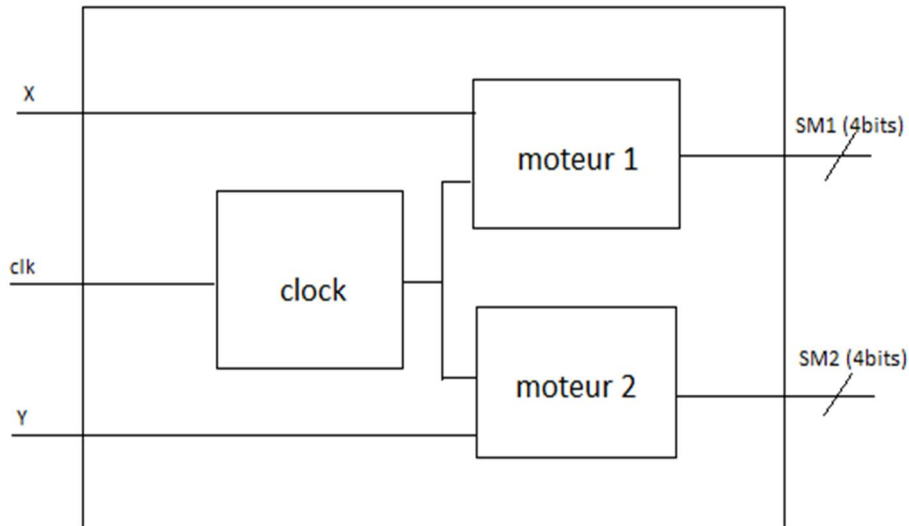


Figure 4.4. Schéma bloc de circuit global (top module)

```
entity circuit is
Port (x : in STD_LOGIC_VECTOR (3 downto 0);
      y : in STD_LOGIC_VECTOR (3 downto 0);
      clkx: in std_logic;
      SM1 : out STD_LOGIC_VECTOR (3 downto 0);
      SM2 : out STD_LOGIC_VECTOR (3 downto 0));
end circuit;
```

Figure 4.5. Entity de Programme final.

```
library IEEE;
use IEEE.STD_LOGIC_1164.ALL;
use IEEE.NUMERIC_STD.ALL;
use IEEE.std_logic_unsigned.all;
entity clk is
Port (clk1: in std_logic;

      clk2 : buffer std_logic);
end clk;
architecture Behavioral of clk is
constant max_count : natural := 10000000;
begin
process (clk1)
variable count : natural range 0 to max_count;
begin
if ((clk1='1')and(clk1'event) ) then

    count := count + 1;

    if count < max_count then
        count := count + 1;
    else
        count := 0;
    end if;
end if;
end process;
end Behavioral;
```

Figure 4.6. Programme de délai.

#### 4.3. Résultats de simulation sous ise

On initialisé la position de X1 par "0011 " et on varie la nouvel valeur de X2

- D'après la figure X=X2= "0000 " donc (X1>X2)

On va charger la valeur de SM1 par les séquences suivante, voir la (figure 4.4)

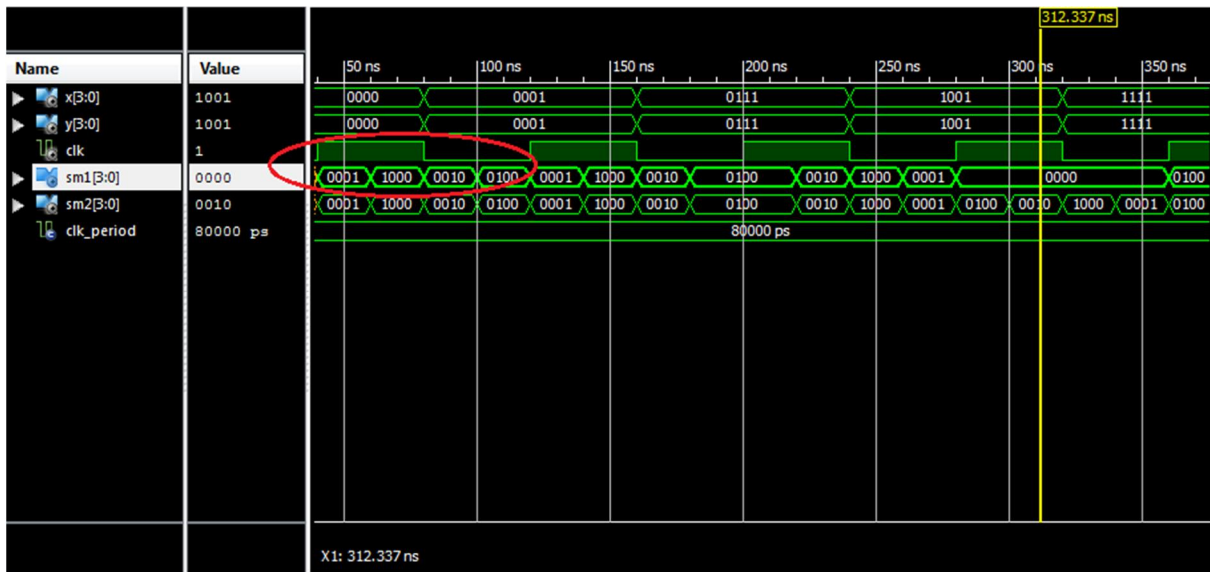


Figure 4.7. Résultat pour(X1>X2).

- D'après la figure X=X2= "1111 " donc (X1<X2)

On va charger la valeur de SM1 par les séquences suivante, voir la (figure 4.5)

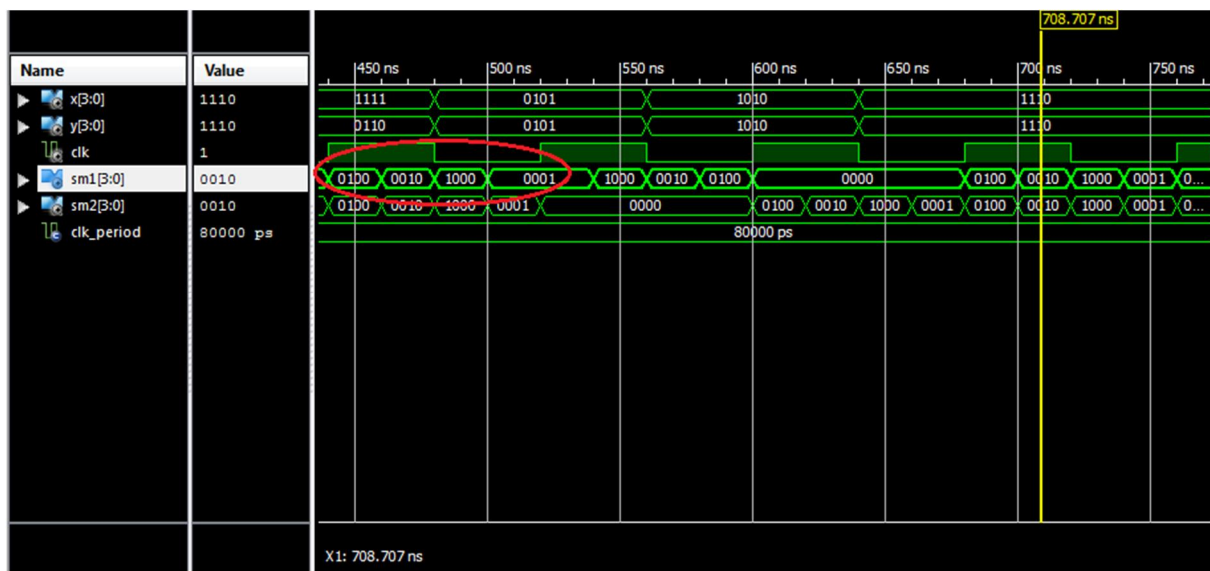


Figure 4.8. Résultat pour (X1 <X2).

- D'après la figure X=X2= "0011 " donc (X1 =X2)

On va charger la valeur de SM1 par la séquence "0000 " voir la (figure 4.6)

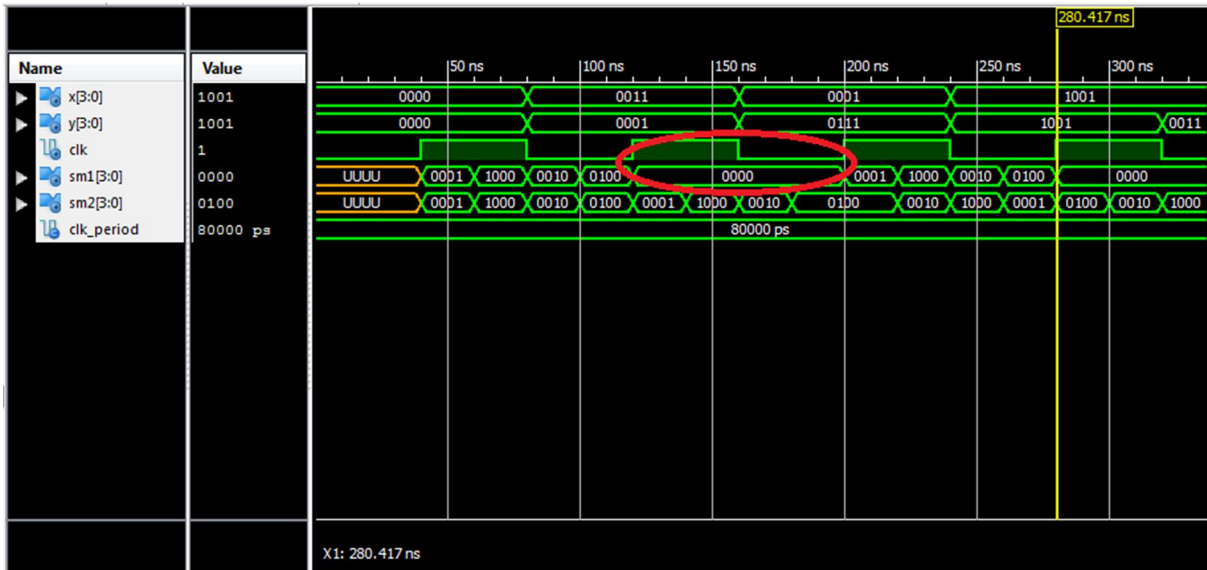


Figure 4.9. Résultat pour (X1 =X2).

On initialisé la position de X1 par "0011 " et le nombre de pas (np= "0111 ") donc

Si le nombre d'impulsion égal le nombre de pas (np) :

- On va charger la valeur de SM1 par la séquence "0000 " voir la (figure)
- Quand SM1= "0000 " l'ancien valeur de ( X1 = "0011 " ) remplacer par la nouvelle valeur de ( X1 = "1001 " ) voir la (figure 4.7)

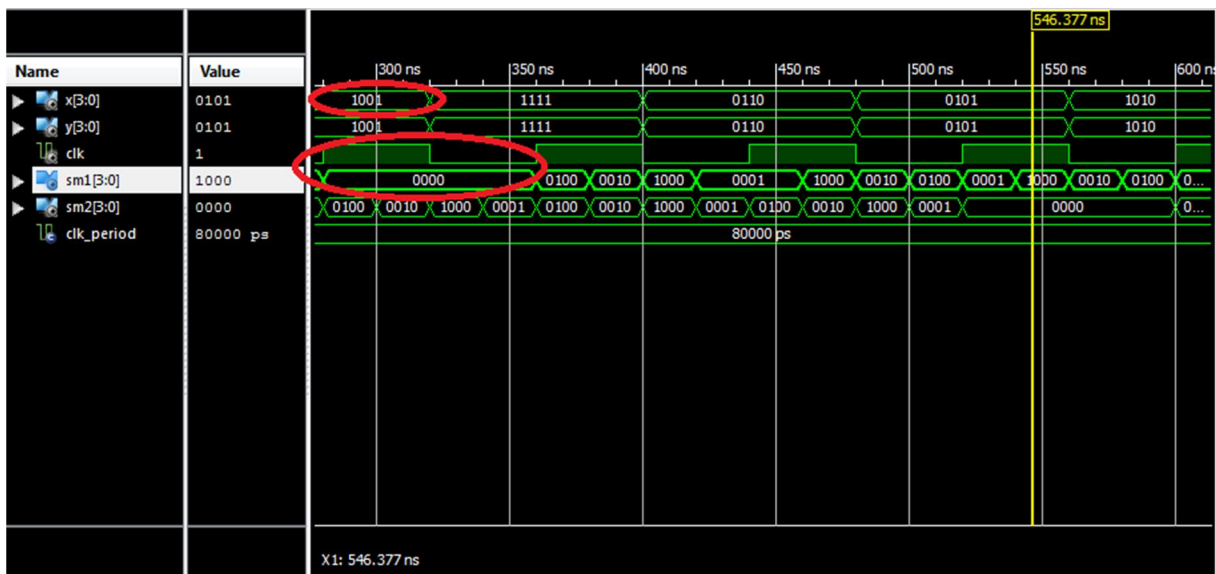


Figure 4.10. Résultat pour le nombre d'impulsion égal le nombre de pas (np) est nul.

Donc les mêmes résultats de simulation pour le Y. Il suffit pour cela de remplacer X par Y.

#### 4.4. Expérimentation avec FPGA

Après avoir téléchargé le code généré par la description VHDL, sur la carte FPGA (circuit FPGA cyclon II programmé).figure 4.11.

Nous donnons quelques coordonnées au circuit en activant les boutons interrupteurs sur la carte FPGA.

Nous montrons quelques résultats dans les figures 4.12 et 4.13 et 4.14 et 4.15.

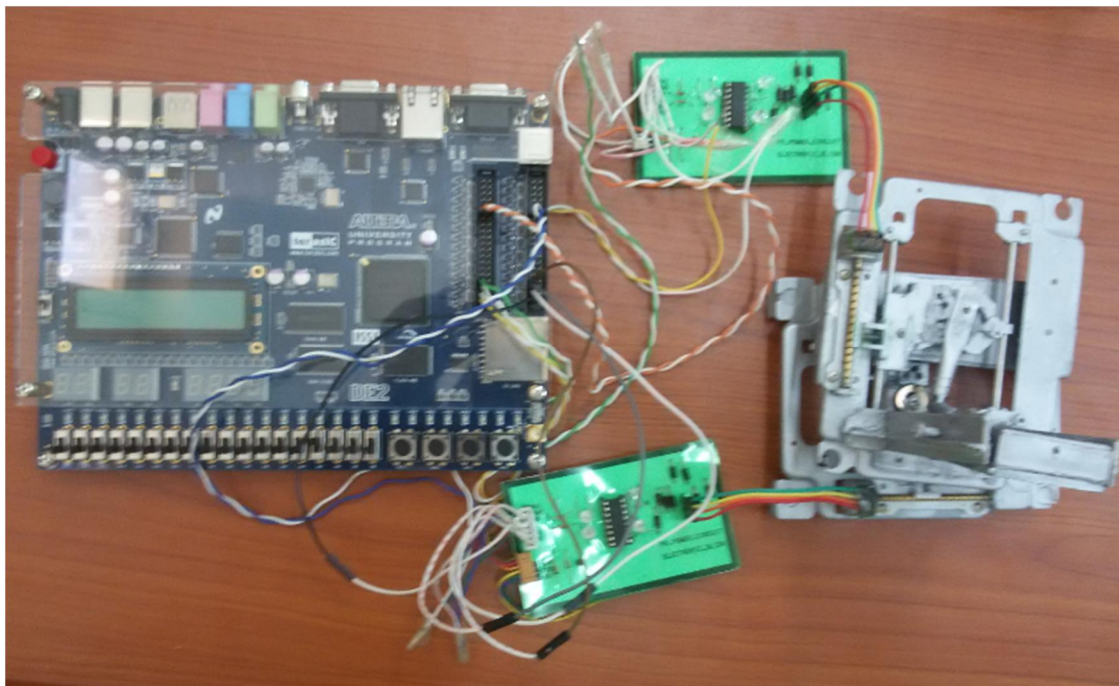


Figure 4.11. Dispositif globale avec la carte FPGA.

Dans l'état initial le rayon laser réfléchi au milieu du la cible.

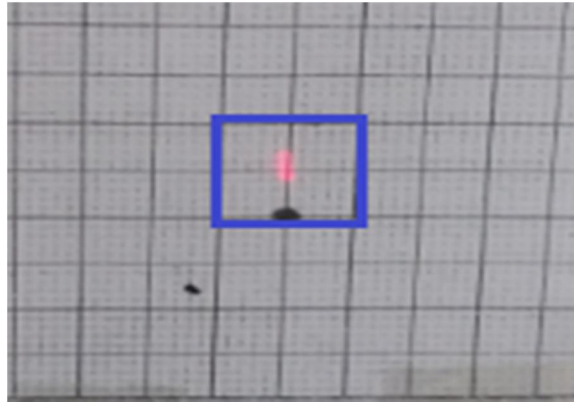


Figure 4.12. État initial.

Première cas :  $Y1=Y2$  et  $X2>X1$ .

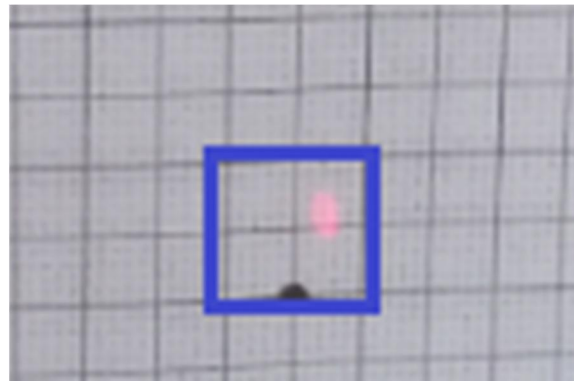


Figure 4.13. Première résultat.

Deuxième cas :  $Y_2 > Y_1$  et  $X_1 = X_2$ .

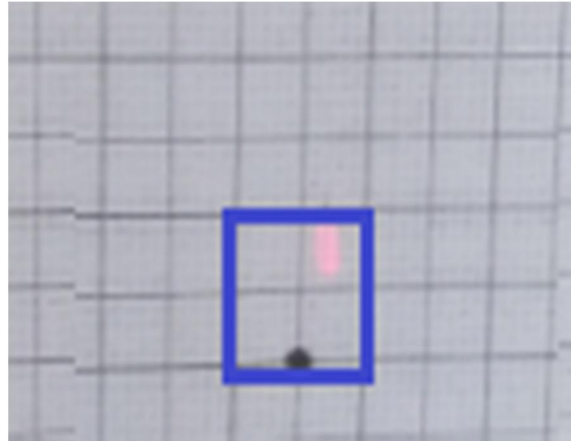


Figure 4.14. Deuxième résultat.

Troisième cas :  $Y_1 > Y_2$  et  $X_2 > X_1$ .

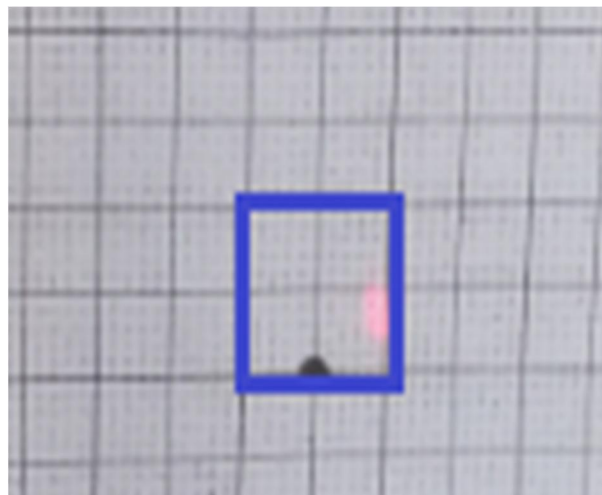


Figure 4.15. Troisième résultat.

## 4.5. Conclusion

Après la compilation de programme nous avons acquis les différents résultats de simulation ce que nous avons expliqué dans ce chapitre puisque le programme VHDL est simulé.

Donc après l'implémentation de ce programme dans le FPGA, le dispositif fonctionnait, donc nous avons acquis les résultats pratiques finals de notre projet.



Le travail réalisé dans ce projet fait partie en réalité d'un projet de recherche qui se fait dans le domaine de l'ingénierie médicale.

La phase expérimentale de cette recherche comporte la mise en place un système de commande d'un rayon lumineux pour l'excitation de sections bien déterminées de la rétine, afin de : soit constituer une base de données des signaux rétinien émis en réponse à ces excitations, soit photo-coaguler des points d'hémorragie dans l'arbre rétinien.

Nous avons conçu et réalisé un mécanisme à base d'un dispositif optique ; nous aurons une précision 1/16 cm de déplacement (x,y) du rayon réfléchi respectivement par la rotation du miroir autour de son axe vertical et horizontal ; la précision est améliorée par la transformation du mouvement de rotation en un mouvement de translation par un système vis écrou monté sur chacun deux moteurs pas à pas.

La commande du dispositif est un circuit implanté sur circuit FPGA décrit en langage VHDL. Le circuit reçoit les positions désirées x et y que l'on fait entrer par les boutons interrupteurs (switch) sur la carte DE2 (contenant le circuit FPGA cyclone II d'Altera) . Un circuit détermine le nombre de pas à effectuer par chaque moteur. La formule mathématique contenant des fonctions trigonométriques, la complexité du calcul a été évitée par l'utilisation de formules de développements limités.

Le circuit FPGA commande les deux moteurs du mécanisme via deux cartes de puissance construites autour de L293D. Nous avons obtenu un système fonctionnel, cependant, la non disponibilité de certains circuits nous amène à suggérer un supplément de travail pour optimiser le système.

Afin d'améliorer les performances de notre système, nous pouvons proposer des actions parmi lesquelles on peut citer:

- Améliorer la partie mécanique, en utilisant des pièces mécaniques plus petites plus légères pour avoir plus de précision et de performance, et des moteurs, plus petits, plus puissants, et plus rapides.

- Améliorer la partie de la mesure : on peut remplacer le papier millimétré par une Webcam ou une caméra CCD qui peut enregistrer le changement de déplacement du

rayon laser et l'enregistreur sur PC pour une meilleure calibration, et un contrôle adaptatif si nécessaire.

- La réalisation d'un système de commande embarquée pour une autonomie complète du système

- L'élaboration d'un algorithme de contrôle adaptatif de la commande à base d'algorithme neuro-morphiques ou autres.

### Références

[1] <http://sitelec.org/cours/abati/motpas.htm>

[1] <http://sitelec.org/cours/abati/elecpcas.htm>

[2] TIRICHINE, BERKANE thèse : contrôle par pc d'un dispositif, université de Blida option contrôle 04/05

[3] A.GUELLAL Amar, Les circuits FPGA : description et applications Recherche et Développement

[4] <http://arduino103.blogspot.com/2011/06/controle-moteur-dc-via-l293d-h-bridge.html>

Miroir p Une surface plane réfléchissante constitue un miroir plan. L'angle d'émergence d'un rayon est égal à son angle d'incidence sur le miroir. Le rayon incident et le rayon réfléchi sont contenus dans le même plan. Le miroir plan est stigmatique pour tout point A dont il donne une image B, symétrique de A par rapport au plan du miroir. Si l'objet est réel (les rayons sont issus du point A), son image est virtuelle (les rayons émergents semblent issus du point B). Réciproquement si l'objet est virtuel (les rayons incidents convergent vers le point A), son image est réelle (point B).

Referance miroir <http://www.al.lu/physics/deuxieme/mousset/reflexion.pdf>

<http://www.proftnj.com/opt-miro.htm>

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Réflexion\\_\(optique\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Réflexion_(optique))

## Paramétrer SolidWorks

SolidWorks est assez intuitif, et modéliser une pièce est assez rapide contrairement à d'autres logiciels de CAO.

Cependant, il existe quelques astuces pour se simplifier le Travail, mais vous n'êtes bien évidemment pas obligé de les utiliser. nous utiliserons SolidWorks 2010.

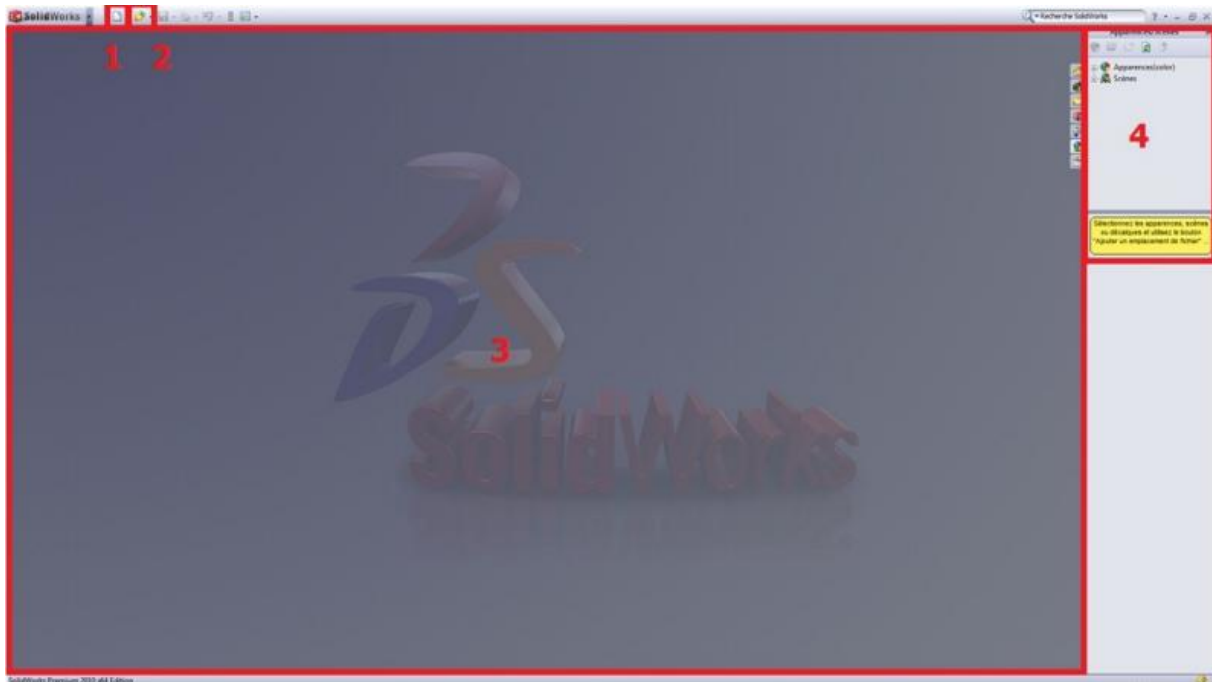


Figure 2.3.Fenêtre SolidWorks.

1. Nouveau fichier (Pièce, Assemblage, ...)
2. Ouvrir un projet existant
3. Zone de dessin
4. Apparence/ Scène

### 2.3.3. Les modules par défauts

3 choix s'offrent à nous :

- Créer une pièce
- Créer un assemblage
- Créer une mise en plan

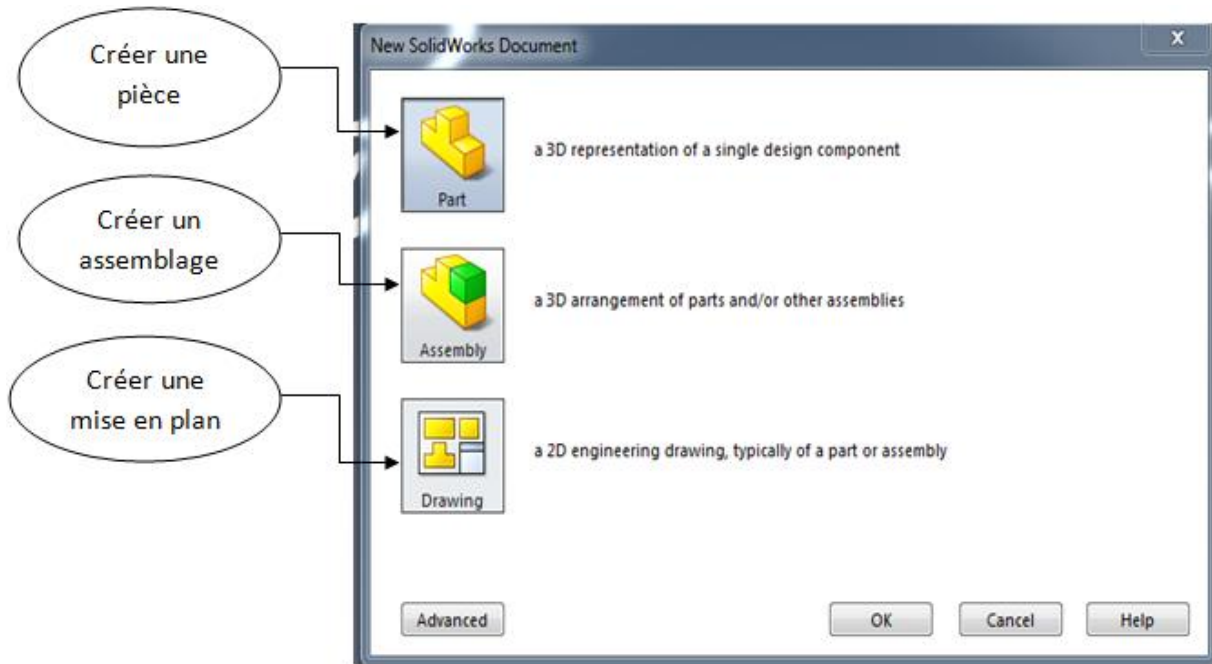


Figure 2.4. Fenêtre de guidage.

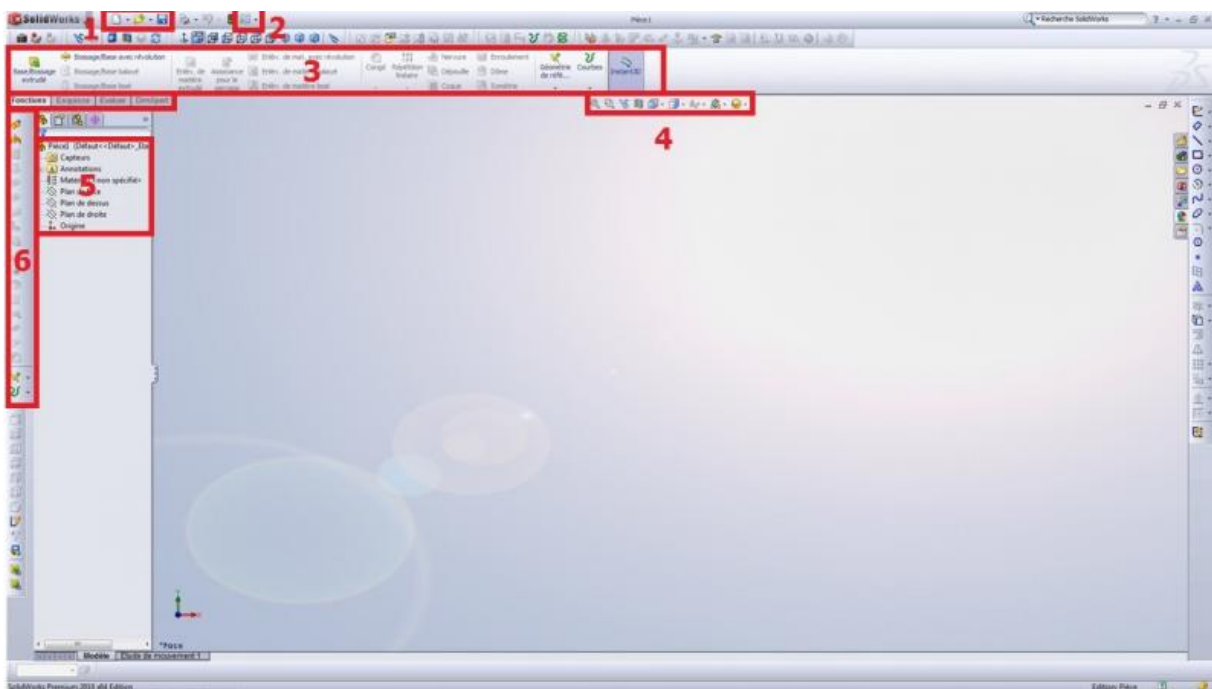


Figure 2.5. Fenêtre principale.

1. Vous reconnaissez les boutons " Nouveau ", " Ouvrir ", et " Enregistrer ".
2. Les Options!

3. Le bandeau principal, que nous utiliserons le plus souvent.
4. Diverses icônes : Vue en coupe, Zoom, Apparence, Vues, ...
5. L'Arbre de conception.
6. Un autre bandeau, que l'on utilisera pour les surfaces.

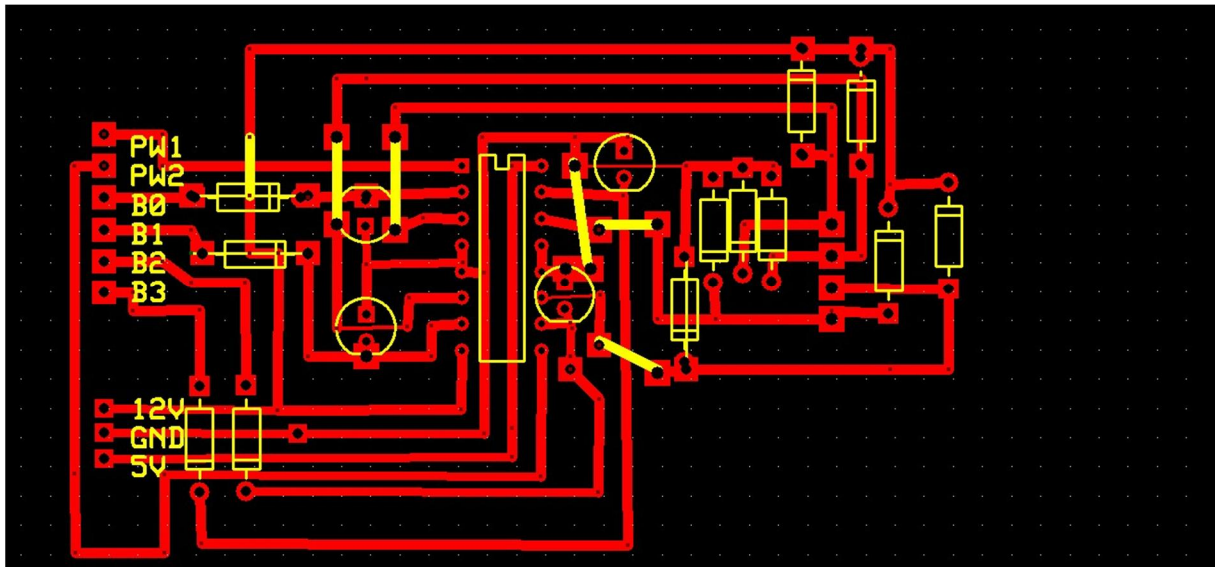


Figure 3.4. Schéma développé à l'aide de proteus.

### 3.3.1. Le Typon

Le Typon est la base qui servira à imprimer les pistes et la localisation des composants sur la carte électronique. Ce n'est qu'une fois le Typon imprimé sur la carte qu'on pourra commencer à installer les composants.

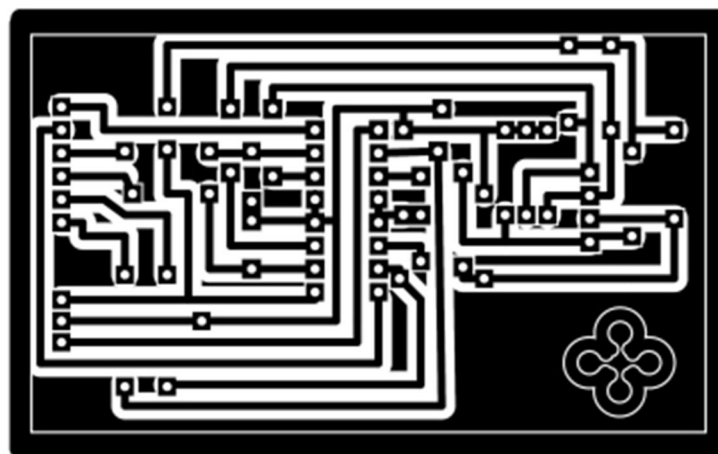


Figure 3.5. Le typon de la carte.

Après toutes les étapes précédentes nous avons terminé la réalisation de la carte de commande.



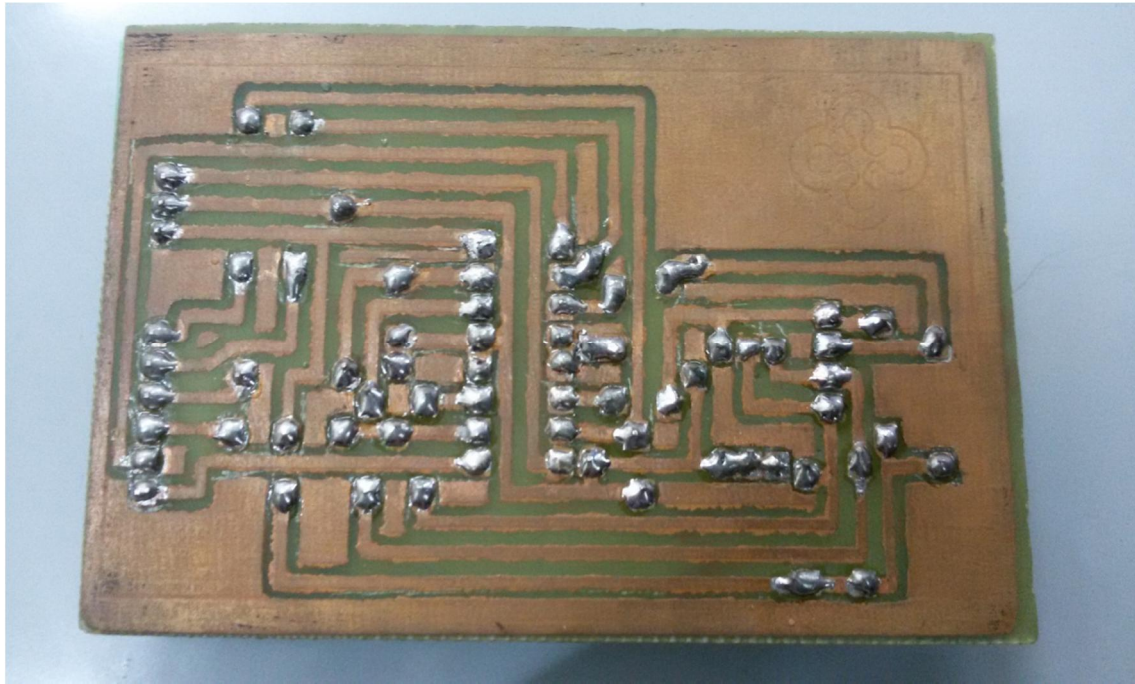


Figure 3.6. Carte terminée (coté pistes).

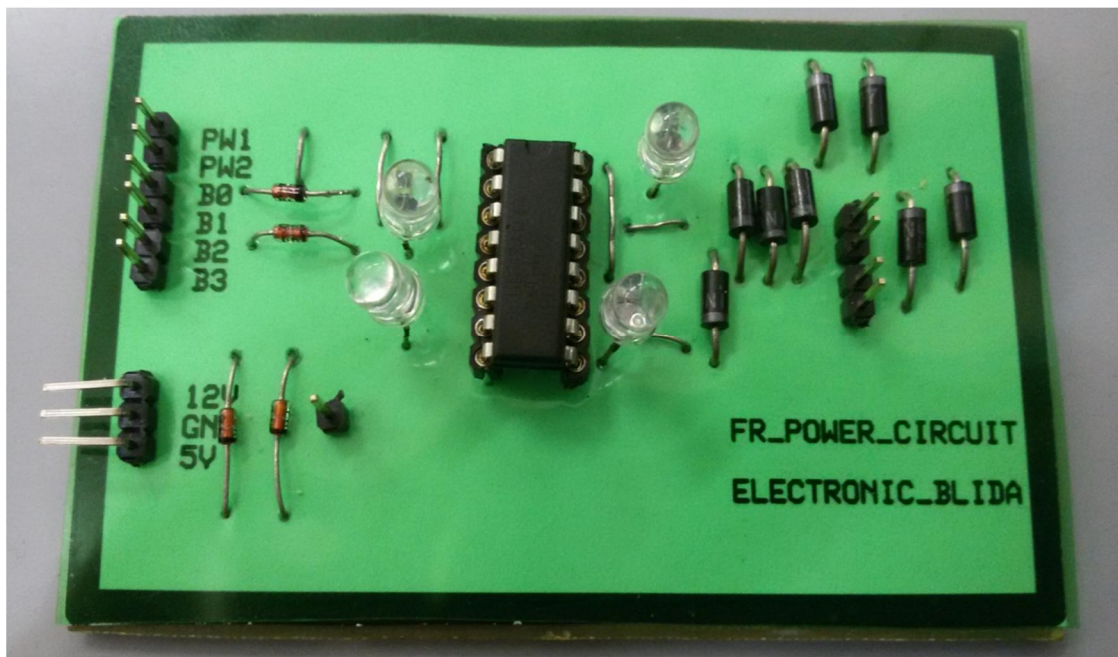
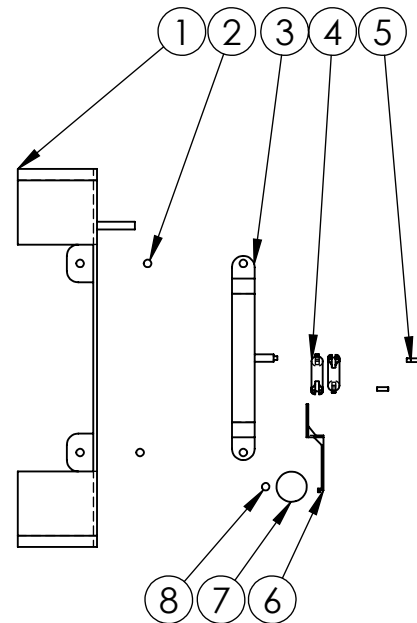
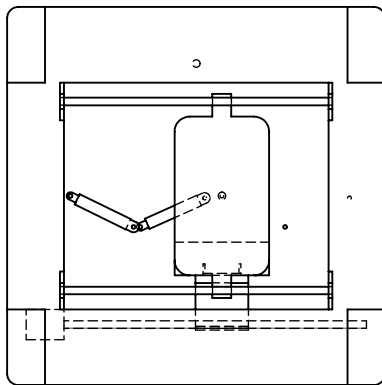
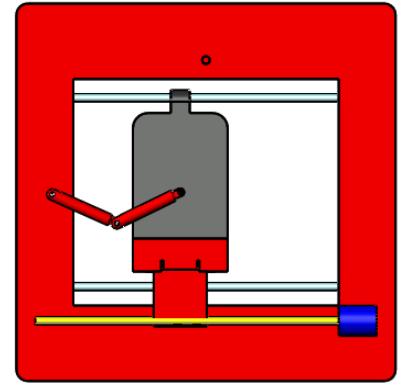



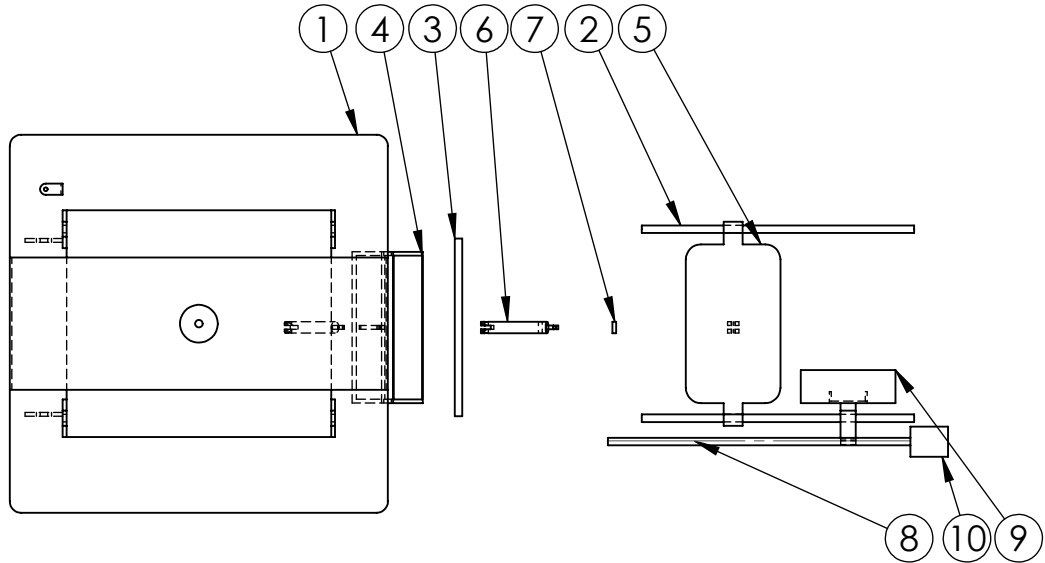
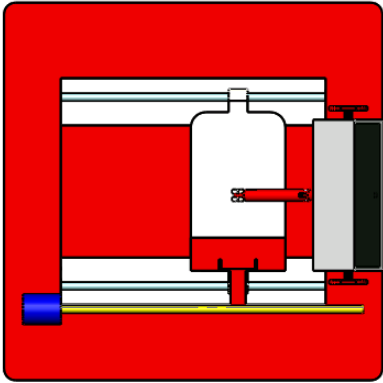
Figure 3.7. Carte terminée (coté composants).

8	vis sans fin inf		1
7	moteur inf		1
6	support inf		1
5	axe cardan		2
4	cardan 1 inf		2
3	glissant inf		1
2	axe plaque inf		2
1	plaque inf		1
No. ARTICLE	designation	DESCRIPTION	Quantité
Table de nomenclature			



SAUF INDICATION CONTRAIRE: LES COTES SONT EN MILLIMETRES ETAT DE SURFACE: TOLERANCES: LINEAIRES: ANGULAIRES:		FINITION:		CASSER LES ANGLES VIFS	NE PAS CHANGER L'ECHELLE	REVISION	
NOM	SIGNATURE	DATE		TITRE:	<h1>Assemblage inferieure</h1>		
AUTEUR	Souidi Fateh						
	khelafi abderrahmane						
VERIF.	Boughrira Hamida						
QUAL.			MATERIAU:	No. DE PLAN	<b>A4</b>		
				ECHELLE:1:2	FEUILLE 1 SUR 1		

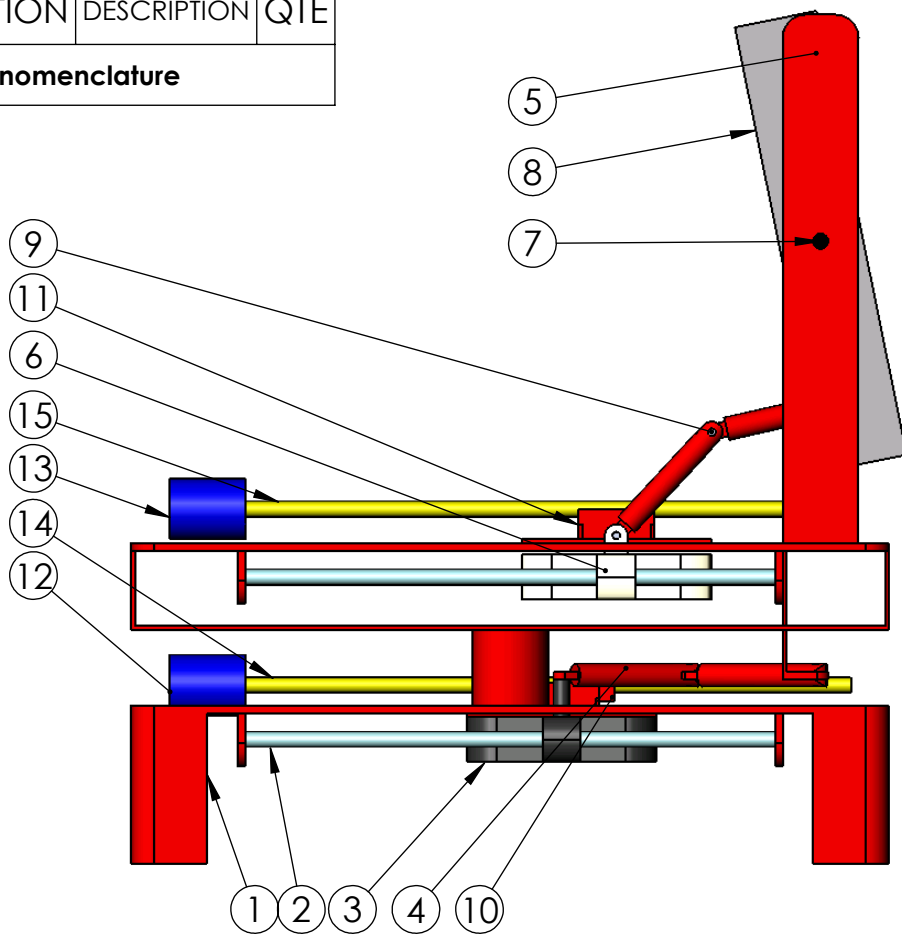
10	moteur sup		1
9	support sup		1
8	vis sans fin inf		1
7	axe cardan		3
6	cardan 1 inf		2
5	glissant super		1
4	miroir		1
3	axe miroir		1
2	axe plaque inf		2
1	plaque sup		1
No. ARTICLE	Designation	DESCRIPTION	QTE
Table de nomenclature			



SAUF INDICATION CONTRAIRE: LES COTES SONT EN MILLIMETRES ETAT DE SURFACE: TOLERANCES: LINEAIRES: ANGULAIRES:		FINITION:		CASSER LES ANGES VIFS	NE PAS CHANGER L'ECHELLE	REVISION
NOM	SIGNATURE	DATE		TITRE: <h1 style="text-align: center;">Assemblages superieur</h1>		
AUTEUR	Soudi Fateh					
	Khelafi Abderrahmane					
VERIF.	Boughrira Hamida					
QUAL.			MATERIAU:	No. DE PLAN	A4	
				ECHELLE:1:5	FEUILLE 1 SUR 1	

15	vis sans fin sup		1
14	vis sans fin inf		1
13	moteur sup		1
12	moteur inf		1
11	support sup		1
10	support inf		1
9	axe cardan		5
8	miroir		1
7	axe miroir		1
6	glissant super		1
5	plaque sup		1
4	cardan 1 inf		4
3	glissant inf		1
2	axe plaque inf		4
1	plaque inf		1
<b>No. ARTICLE</b>	<b>DESIGNATION</b>	<b>DESCRIPTION</b>	<b>QTE</b>

**Table de nomenclature**



SAUF INDICATION CONTRAIRE:  
LES COTES SONT EN MILLIMETRES  
ETAT DE SURFACE:  
TOLERANCES:  
LINEAIRES:  
ANGULAIRES:



CASSER LES ANGES VIFS

NE PAS CHANGER L'ECHELLE

NOM	SIGNATURE	DATE		
AUTEUR	Souidi Fateh			
	Khelafi Abderrahmane			
VERIF.	Boughrira Hamida			
			MATERIAU:	
			MASSE:	

TITRE:	<h1>Assemblage generale 2</h1>
No. DE PLAN	
ECHELLE: 1:2	A4
FEUILLE 1 SUR 1	

# L293, L293D QUADRUPLE HALF-H DRIVERS

SLRS008C – SEPTEMBER 1986 – REVISED NOVEMBER 2004

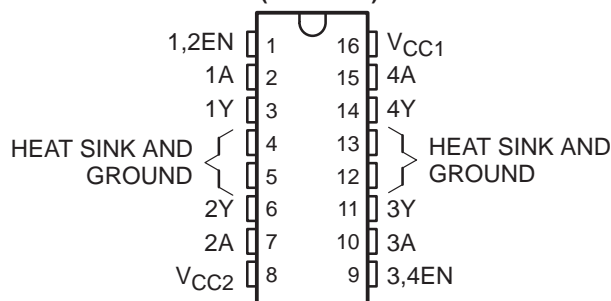
- Featuring Unitorde L293 and L293D Products Now From Texas Instruments
- Wide Supply-Voltage Range: 4.5 V to 36 V
- Separate Input-Logic Supply
- Internal ESD Protection
- Thermal Shutdown
- High-Noise-Immunity Inputs
- Functionally Similar to SGS L293 and SGS L293D
- Output Current 1 A Per Channel (600 mA for L293D)
- Peak Output Current 2 A Per Channel (1.2 A for L293D)
- Output Clamp Diodes for Inductive Transient Suppression (L293D)

## description/ordering information

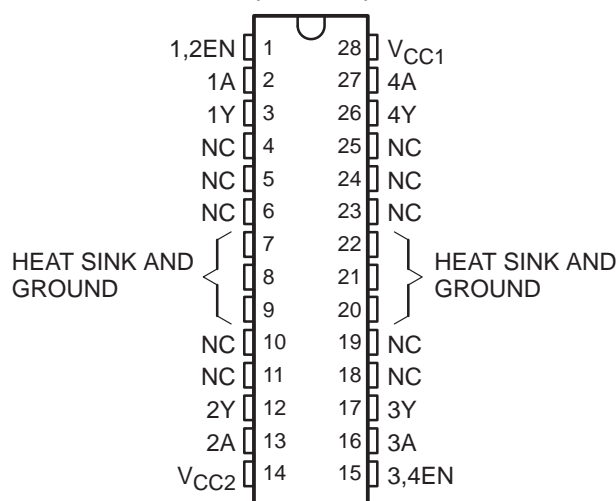
The L293 and L293D are quadruple high-current half-H drivers. The L293 is designed to provide bidirectional drive currents of up to 1 A at voltages from 4.5 V to 36 V. The L293D is designed to provide bidirectional drive currents of up to 600-mA at voltages from 4.5 V to 36 V. Both devices are designed to drive inductive loads such as relays, solenoids, dc and bipolar stepping motors, as well as other high-current/high-voltage loads in positive-supply applications.

All inputs are TTL compatible. Each output is a complete totem-pole drive circuit, with a Darlington transistor sink and a pseudo-Darlington source. Drivers are enabled in pairs, with drivers 1 and 2 enabled by 1,2EN and drivers 3 and 4 enabled by 3,4EN. When an enable input is high, the associated drivers are enabled, and their outputs are active and in phase with their inputs. When the enable input is low, those drivers are disabled, and their outputs are off and in the high-impedance state. With the proper data inputs, each pair of drivers forms a full-H (or bridge) reversible drive suitable for solenoid or motor applications.

L293 . . . N OR NE PACKAGE  
L293D . . . NE PACKAGE  
(TOP VIEW)



L293 . . . DWP PACKAGE  
(TOP VIEW)



## ORDERING INFORMATION

T <sub>A</sub>	PACKAGE†		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING
0°C to 70°C	HSOP (DWP)	Tube of 20	L293DWP	L293DWP
	PDIP (N)	Tube of 25	L293N	L293N
	PDIP (NE)	Tube of 25	L293NE	L293NE
		Tube of 25	L293DNE	L293DNE

† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at [www.ti.com/sc/package](http://www.ti.com/sc/package).



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

 **TEXAS  
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 2004, Texas Instruments Incorporated

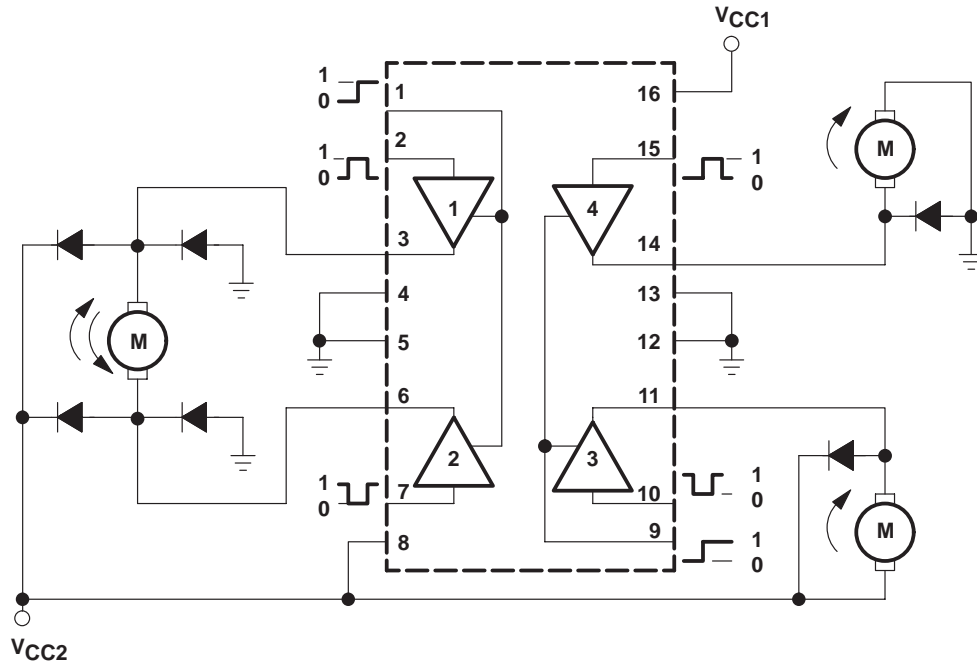
# L293, L293D QUADRUPLE HALF-H DRIVERS

SLRS008C – SEPTEMBER 1986 – REVISED NOVEMBER 2004

## description/ordering information (continued)

On the L293, external high-speed output clamp diodes should be used for inductive transient suppression. A  $V_{CC1}$  terminal, separate from  $V_{CC2}$ , is provided for the logic inputs to minimize device power dissipation. The L293 and L293D are characterized for operation from 0°C to 70°C.

## block diagram



NOTE: Output diodes are internal in L293D.

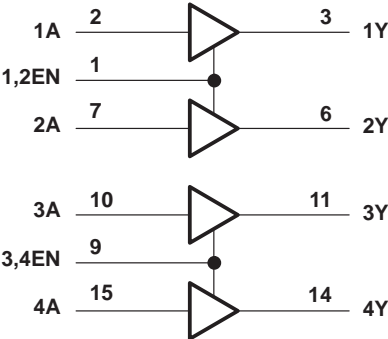
FUNCTION TABLE  
(each driver)

INPUTS <sup>†</sup>		OUTPUT
A	EN	Y
H	H	H
L	H	L
X	L	Z

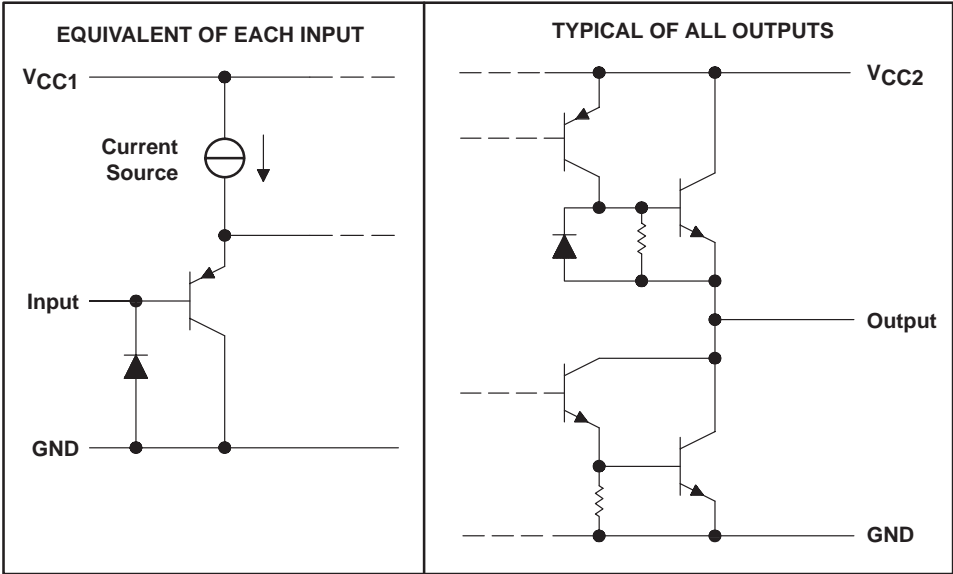
H = high level, L = low level, X = irrelevant, Z = high impedance (off)

<sup>†</sup> In the thermal shutdown mode, the output is in the high-impedance state, regardless of the input levels.

**logic diagram**



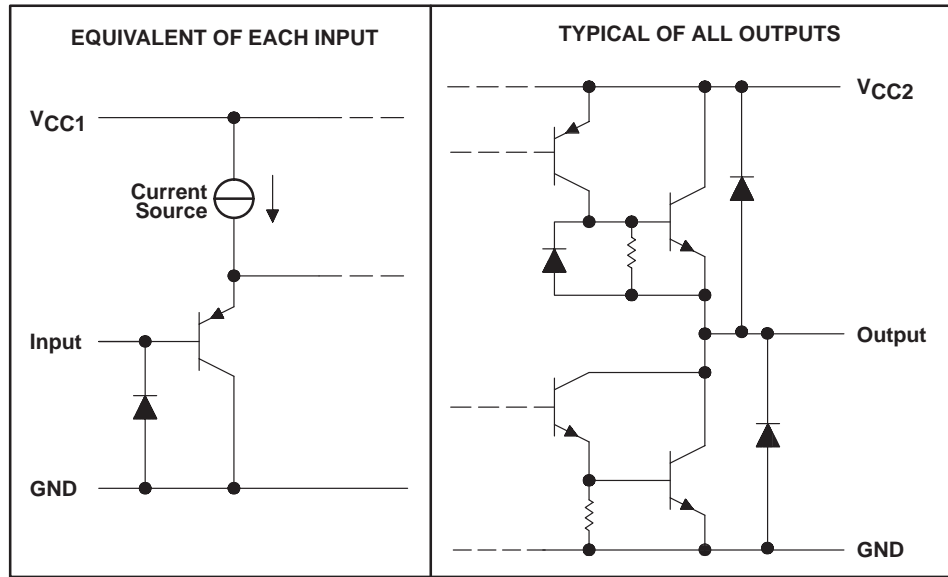
**schematics of inputs and outputs (L293)**



# L293, L293D QUADRUPLE HALF-H DRIVERS

SLRS008C – SEPTEMBER 1986 – REVISED NOVEMBER 2004

## schematics of inputs and outputs (L293D)



### absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)†

Supply voltage, $V_{CC1}$ (see Note 1)	36 V
Output supply voltage, $V_{CC2}$	36 V
Input voltage, $V_I$	7 V
Output voltage range, $V_O$	-3 V to $V_{CC2} + 3$ V
Peak output current, $I_O$ (nonrepetitive, $t \leq 5$ ms): L293	$\pm 2$ A
Peak output current, $I_O$ (nonrepetitive, $t \leq 100 \mu\text{s}$ ): L293D	$\pm 1.2$ A
Continuous output current, $I_O$ : L293	$\pm 1$ A
Continuous output current, $I_O$ : L293D	$\pm 600$ mA
Package thermal impedance, $\theta_{JA}$ (see Notes 2 and 3): DWP package	TBD°C/W
N package	67°C/W
NE package	TBD°C/W
Maximum junction temperature, $T_J$	150°C
Storage temperature range, $T_{stg}$	-65°C to 150°C

† Stresses beyond those listed under “absolute maximum ratings” may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under “recommended operating conditions” is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

- NOTES:
- All voltage values are with respect to the network ground terminal.
  - Maximum power dissipation is a function of  $T_J(\text{max})$ ,  $\theta_{JA}$ , and  $T_A$ . The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is  $P_D = (T_J(\text{max}) - T_A) / \theta_{JA}$ . Operating at the absolute maximum  $T_J$  of 150°C can affect reliability.
  - The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.



# L293, L293D QUADRUPLE HALF-H DRIVERS

SLRS008C – SEPTEMBER 1986 – REVISED NOVEMBER 2004

## recommended operating conditions

		MIN	MAX	UNIT
Supply voltage	V <sub>CC1</sub>	4.5	7	V
	V <sub>CC2</sub>	V <sub>CC1</sub>	36	
V <sub>IH</sub> High-level input voltage	V <sub>CC1</sub> ≤ 7 V	2.3	V <sub>CC1</sub>	V
	V <sub>CC1</sub> ≥ 7 V	2.3	7	V
V <sub>IL</sub> Low-level output voltage		-0.3†	1.5	V
T <sub>A</sub> Operating free-air temperature		0	70	°C

† The algebraic convention, in which the least positive (most negative) designated minimum, is used in this data sheet for logic voltage levels.

## electrical characteristics, V<sub>CC1</sub> = 5 V, V<sub>CC2</sub> = 24 V, T<sub>A</sub> = 25°C

PARAMETER		TEST CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNIT
V <sub>OH</sub> High-level output voltage		L293: I <sub>OH</sub> = -1 A L293D: I <sub>OH</sub> = -0.6 A		V <sub>CC2</sub> - 1.8	V <sub>CC2</sub> - 1.4		V
V <sub>OL</sub> Low-level output voltage		L293: I <sub>OL</sub> = 1 A L293D: I <sub>OL</sub> = 0.6 A			1.2	1.8	V
V <sub>OKH</sub> High-level output clamp voltage		L293D: I <sub>OK</sub> = -0.6 A			V <sub>CC2</sub> + 1.3		V
V <sub>OKL</sub> Low-level output clamp voltage		L293D: I <sub>OK</sub> = 0.6 A			1.3		V
I <sub>IH</sub> High-level input current	A	V <sub>I</sub> = 7 V			0.2	100	μA
	EN				0.2	10	
I <sub>IL</sub> Low-level input current	A	V <sub>I</sub> = 0			-3	-10	μA
	EN				-2	-100	
I <sub>CC1</sub> Logic supply current		I <sub>O</sub> = 0	All outputs at high level		13	22	mA
			All outputs at low level		35	60	
			All outputs at high impedance		8	24	
I <sub>CC2</sub> Output supply current		I <sub>O</sub> = 0	All outputs at high level		14	24	mA
			All outputs at low level		2	6	
			All outputs at high impedance		2	4	

## switching characteristics, V<sub>CC1</sub> = 5 V, V<sub>CC2</sub> = 24 V, T<sub>A</sub> = 25°C

PARAMETER	TEST CONDITIONS	L293NE, L293DNE			UNIT
		MIN	TYP	MAX	
t <sub>PLH</sub> Propagation delay time, low-to-high-level output from A input	C <sub>L</sub> = 30 pF, See Figure 1		800		ns
t <sub>PHL</sub> Propagation delay time, high-to-low-level output from A input			400		ns
t <sub>TLH</sub> Transition time, low-to-high-level output			300		ns
t <sub>THL</sub> Transition time, high-to-low-level output			300		ns

## switching characteristics, V<sub>CC1</sub> = 5 V, V<sub>CC2</sub> = 24 V, T<sub>A</sub> = 25°C

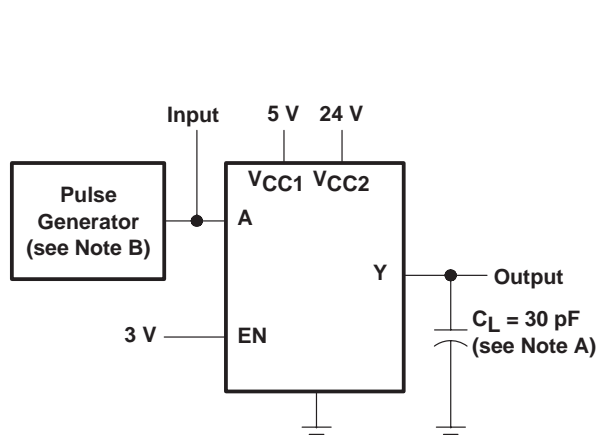
PARAMETER	TEST CONDITIONS	L293DWP, L293N L293DN			UNIT
		MIN	TYP	MAX	
t <sub>PLH</sub> Propagation delay time, low-to-high-level output from A input	C <sub>L</sub> = 30 pF, See Figure 1		750		ns
t <sub>PHL</sub> Propagation delay time, high-to-low-level output from A input			200		ns
t <sub>TLH</sub> Transition time, low-to-high-level output			100		ns
t <sub>THL</sub> Transition time, high-to-low-level output			350		ns



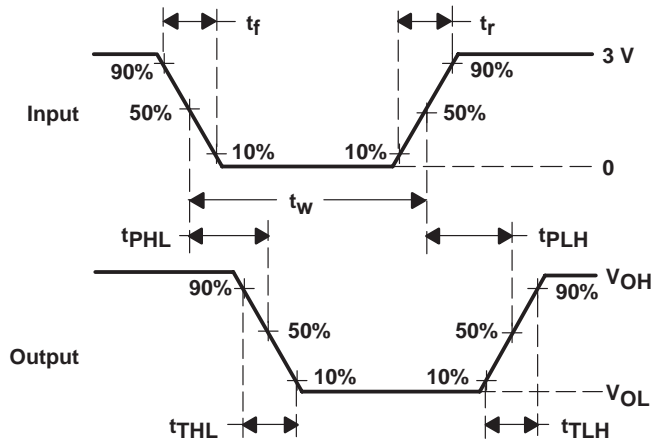
# L293, L293D QUADRUPLE HALF-H DRIVERS

SLRS008C – SEPTEMBER 1986 – REVISED NOVEMBER 2004

## PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION



TEST CIRCUIT



VOLTAGE WAVEFORMS

- NOTES: A.  $C_L$  includes probe and jig capacitance.  
 B. The pulse generator has the following characteristics:  $t_r \leq 10$  ns,  $t_f \leq 10$  ns,  $t_w = 10$   $\mu$ s, PRR = 5 kHz,  $Z_O = 50$   $\Omega$ .

Figure 1. Test Circuit and Voltage Waveforms

APPLICATION INFORMATION

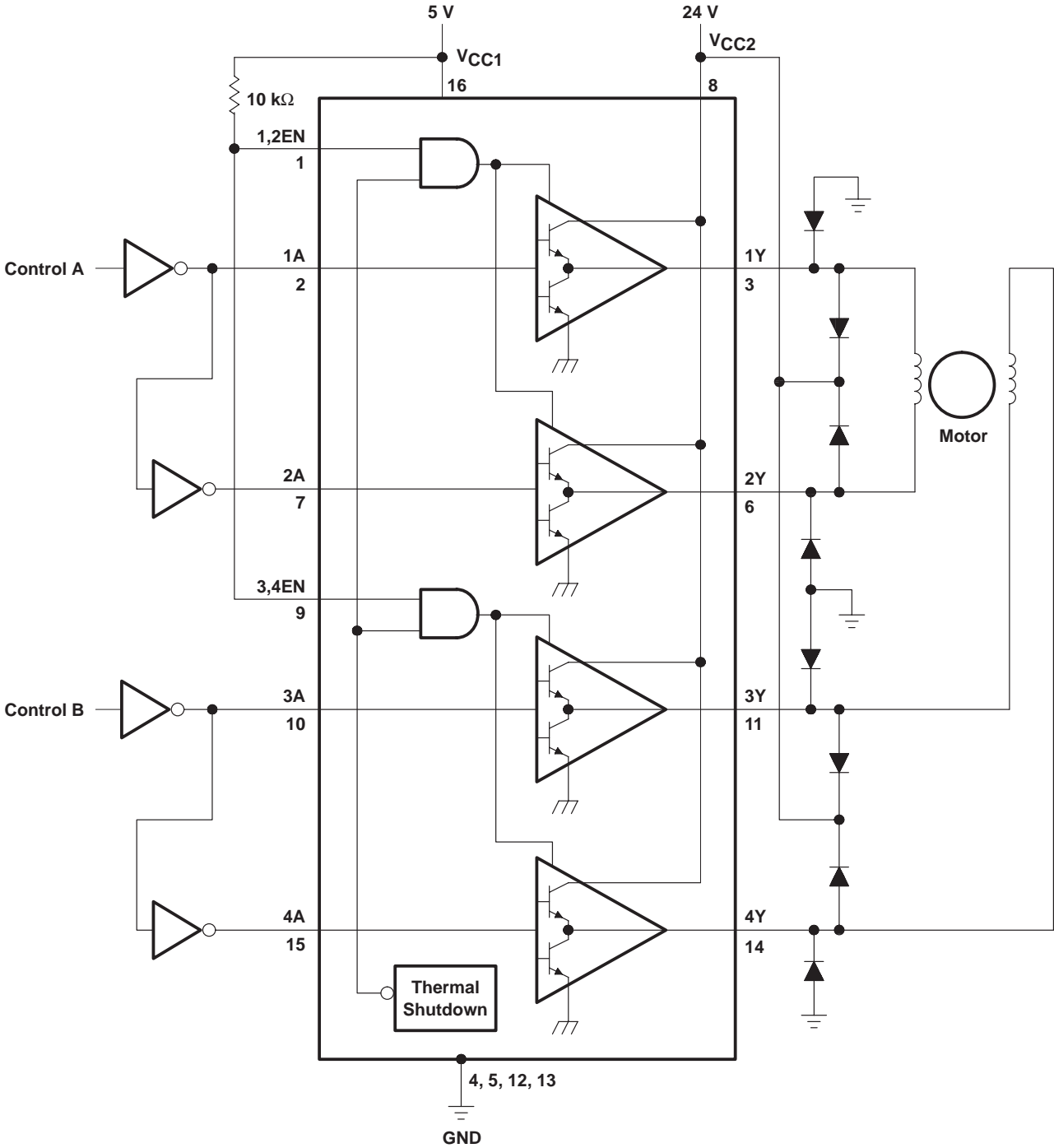


Figure 2. Two-Phase Motor Driver (L293)