

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي و البحث 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

BOUALI Mohamed

&

BOUEUBDALLAH Rabah

**Contrôle par PC des micro-miroirs  
D'un <<DMD>> pour le  
modulation et le positionnement  
X,Y sur la rétine ,d'un faisceau laser  
issu d'une source lumineuse fixe**

Proposé par : Mme .H.Bougherira et Mme .D.Naceur

Année Universitaire 2016-2017

## Remerciements

---

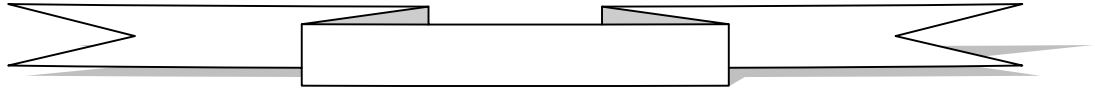
**Avant tout nous remercions "Allah" tout puissant qui nous a donné le courage, la volonté et la force pour accomplir ce modeste travail. Merci de nous avoir éclairé le chemin de la réussite.**

**Nous avons le grand plaisir d'exprimer nos sentiments les plus profondes par le remerciement de notre promotrice Meme H.BOUGHRIRA de son aide a concevoir ce projet de fin d'étude et de son guide et entretien afin de nous donner un encouragement a sa réalisation.**

**Nous remercions tous les participants et les enseignants de département d'électronique et physique pour leur aide durant notre cursus universitaire.**

Mohamed et Rabah

# ***Dédicaces***



*Je dédie ce travail de fin d'études à :*

*Mes très chers parents pour leur aides, encouragements soutiens, et leur  
patiences pendant mes années d'études, qui ont été comme de bougie qui  
brulait pour éclairer mon chemin.*

*Mes deux sœurs et mes chers frères et tous ma grand famille **BOUALI**  
et **HAMRANI**.*

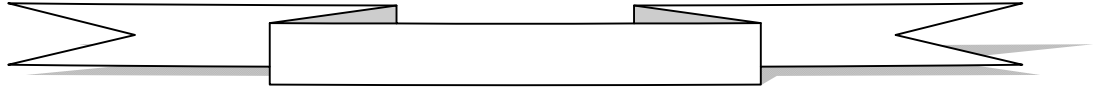
*Mes chers amies*

*«Aziz,Loulou,Rabah,Raouf,Seyfo,Soualhi,Oueldmaamar,Samir,Sabrina,  
Nourelhouda,et surtout Benhadj Mahfoud qui m'a aidé dans ce travail*

*A tous les étudiants de la promotion 2016/2017 option **MMCC***

***BOUALI Mohamed***

# *Dédicaces*



*Je dédie ce travail de fin d'études à :*

*Mes très chers parents*

*Mes deux soeurs et mes chers frères et tous ma grand famille*

*BOUEUBDALLAH et BENBRAHIM*

*Mes chers amies*

*« Seyfo, Raouf, Mohamed BOUALI, Soualhi, Mohamed Chrif,*

*, Samir, Nourelhouda »*

*A tous les étudiants de la promotion 2016/2017 option MMCC.*

***BOUEUBDALLAH Rabah***

---

ملخص: الهدف من هذا المشروع هو التحكم في إحداثيات موقع (س و ع) للشعاع ضوئي منبعث من مصدر ليزر ثابت لإثارة مناطق محددة من شبكية العين.

نحن نستخدم جهاز الكترو ميكانيكي ضوئي دقيق , متكون من مرايا دقيقة التي يمكن من خلالها تغير انعكاس شعاع ضوئي عن طريق دورانها على محورها باستعمال.

صور التحكم المرسله إلى الجهاز عن طريق برنامج سي ++ فيسوال ستيديو , عبر واجهات برمجية قمنا بتطويرها لاستعمال أسرع و دقيق لتحقيق هدفنا.

قمنا بتصميم منظومة تقنية ضوئية تحتوي الجهاز تعمل على تركيز الليزر على الجهاز و على الشبكية كي نتوصل الى نتائج أكثر فاعلية و دقة.

كلمات المفاتيح: ليزر , جهاز , شبكية العين.

---

**Résumé :** Le but de ce projet est le contrôle de positionnement x et y d'un rayon lumineux provenant d'une source laser fixe pour l'excitation de zones spécifiques de la rétine.

Nous utilisons un dispositif microsysteme opto-électromécanique constitué de micro-miroirs que l'on peut faire pivoter autour de leur axe respectivement commandés par PC

Les images de commande envoyées au microsysteme sont générées sous programme C++ Visual Studio, elles sont envoyées vers le DMD, via un programme que nous avons développé doté d'une interface graphique plus-adaptée à notre application et plus rapide pour le DMD.

Nous avons conçu un système optique externe pour une meilleure convergence du rayon laser et réfléchi par le DMD et projecteur rétine.

**Mots clés :** La rétine ; Laser ; DMD

---

**Abstract:** The aim of this project is to control the positioning x and y of a light ray from a fixed laser source for excitation of specific areas of the retina.

We use an opto-electromechanical Microsystems device made up of micro mirrors which can be rotated around their respective axis controlled by PC

The control images sent to the Microsystems are generated under the C ++ Visual Studio program, sent to the DMD, via a program we have developed with a graphical interface more suited to our application and faster for the DMD.

We designed an external optical system for better convergence of the laser beam and reflected by the DMD and projected onto the retina.

**Keywords :** Retina ; Laser ; DMD ;

---

## Listes des acronymes et abréviations

$\varphi$	le déphasage entre les rayons lumineux	[rad]
$\theta_0$	l'angle entre l'axe de propagation et la direction du faisceau lumineux	[Rad]
$w_0$	Rayon de pincement	[m]
$\lambda$	Longueur d'onde	[nm]
V	Vergence d'une lentille	[1/m]

DMD	Digital Micro mirror Device
DLP	Digital light Processing
SRAM	mémoire vive statique (Static Random Access Memory)
CMOS	Complementary metal–oxide–semiconductor
PWM	Pulse Width Modulation
LCD	Liquid crystal display
MSB	More significant bit
LSB	Least significant bit
SLM	Spatial light modulator

## Table des matières

<b>Introduction générale</b> .....	<b>1</b>
Chapitre 1 Description et Etude du circuit de micro-miroirs DMD	
<b>1.2 Historique du DMD</b> .....	<b>3</b>
<b>1.4 Architecture du DMD</b> .....	<b>5</b>
1.4.1 Fonctionnement DMD .....	8
1.4.2 Avantages.....	11
<b>1.5 Applications et propriétés du DMD</b> .....	<b>12</b>
1.5.1 Utilisation du DMD avec source laser.....	12
1.5.2 Propriétés optiques du DMD .....	12
1.5.3 Efficacité de la diffraction .....	12
<b>1.6 Conclusion</b> .....	<b>13</b>
Chapitre 2 Etude optique pour les dispositifs expérimentaux	
<b>2.1 Introduction</b> .....	<b>14</b>
<b>2.2 Description du système</b> .....	<b>14</b>
<b>2.3 Étude de l'unité optique</b> .....	<b>16</b>
2.3.1 Transmission du faisceau (de la diode laser vers DMD) .....	17
a. Phénomène de décomposition et diffraction du laser .....	17
b- Paramètre d'un faisceau laser .....	18
c- paramètre de focalisation du laser .....	19
2.3.2 Entrée/sortie (réflexion) du faisceau dans le DMD.....	22
a. Les paramètres de la matrice (Micro Miroirs).....	22
2.3.3 Transmission du faisceau (du DMD à la rétine) .....	24

a-La structure de l'œil.....	24
b-L'incidence du rayon réfléchi par le DMD sur la rétine.....	25
<b>2.4 Conclusion .....</b>	<b>26</b>

Chapitre 3                    Conception et commande du mécanisme

<b>3.1 Introduction.....</b>	<b>27</b>
<b>3.2 Matériel:.....</b>	<b>27</b>
<b>3.3 Méthode d travail .....</b>	<b>28</b>
3.3.1 Partie expérimental optique.....	28
3.3.2 Partie commande.....	29
3.3.2.1 Commande par VIALUX.....	29
3.3.2.2 Commande par langage C++ (Visual Studio 2010).....	31
3.3.3 Implémentation du programme .....	32
3.3.3.1 Configuration du logiciel.....	32
<u>  </u> a-Logiciel utilisé (visual studio 2010) .....	32
<u>  </u> b-Configuration .....	32
3.3.3.2 Conception et implémentation de l'interface graphique.....	35
3.3.3.3 Implémentation du programme .....	39
<u>  </u> a. Programme.....	39
<b>3.4 Conclusion .....</b>	<b>40</b>

Chapitre 4                    Implémentations et résultats

<b>4.1 Introduction.....</b>	<b>42</b>
<b>4.2 Implémentation et résultats .....</b>	<b>42</b>
4.2.1 Réglages des distances, DMD éteint .....	42
4.2.2 DMD allumé : aucune image transmise au DMD .....	43



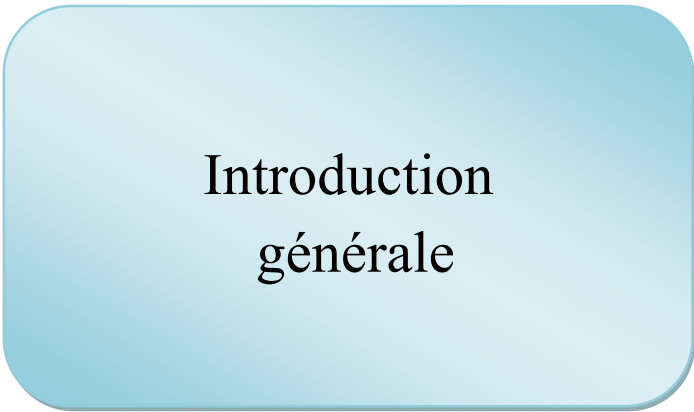
4.2.3 Choix de la figure : mise en évidence de la modulation du rayon laser .....	44
4.2.4 Changement de position de la figure (carré blanc).....	46
4.2.5 Changement de dimension de la figure .....	47
4.2.6 Déplacement de la cible.....	52
4.2.7 Implémentation du programme sous C++ Visual Studio .....	54
4.2.7.1 Implementation de la fenêtre ‘ DMD ‘ .....	54
4.2.7.2Implementation de la fenêtre ‘ WEBCAM ‘ .....	59
<b>4.3 Conclusion .....</b>	<b>61</b>

## Liste des figures

Figure 1. 1 Larry Hornbeck.....	3
Figure 1. 2 Ordre de grandeur de la taille d'un DMD .....	4
Figure 1. 3 Structure d'un miroir. ....	4
Figure 1. 4 Principe du système de projection. ....	5
Figure 1. 5 Couche d'architecture DMD .....	7
Figure 1. 6 Structure DMD de deux éléments miroirs dans différents états de commutation .....	7
Figure 1. 7 Vue microscopique des éléments miroirs DMD à plat .....	8
Figure 1. 8 De l'éclairage hors axe, à l'état plat, à l'état OFF et à l'état ON .....	8
Figure 1. 9 Une illustration du modèle de séquence PWM binaire en utilisant un exemple de vidéo 6 bits .....	10
Figure 1. 10 un exemple de production de niveaux de gris avec une vidéo 4 bits .....	10
Figure 2. 1 illustre des unités notre dispositif.....	14
Figure 2. 2 Schéma bloc fonctionnel du dispositif opto-électromécanique .....	15
Figure 2. 3 dispositif optique .....	16
Figure 2. 4 illustration sur laser et la distance .....	18
Figure 2. 5 l'image d'un Faisceau laser idéal.....	18
Figure 2. 6 l'image Faisceau laser réel .....	19
Figure 2. 7 Lentille convergente.....	19
Figure 2. 8 Lentille convergente.....	20
Figure 2. 9 faisceau gaussien et lentille optique .....	20
Figure 2. 10 faisceau gaussien et lentille optique .....	21
Figure 2. 11 Vue de face de la grille micro Mirror .un petit la section des miroirs est réglée sur ON (indiqué par la flèche rouge) qui peut être considérée comme une bande dans la surface de la grille.....	23
Figure 2. 12 Schéma de la réflexion de faisceau .....	24
Figure 2. 13 schéma de la rétine humaine.....	25
Figure 3. 1 photo de l'ensemble des éléments composant le system utilisé au laboratoire.....	28

Figure 3. 2 Schéma de fonctionnement du mécanisme montrant la commande par PC.....	29
Figure 3. 3 Fenêtre principale de VIALUX GMBH (ALP Démo). .....	30
Figure 3. 4 Séquence control. ....	31
Figure 3. 5 Logo de visual studio 2010. ....	32
Figure 3. 6 La première étape consiste à ajouter un fichier dll. ....	33
Figure 3. 7 La deuxième étape consiste à ajouter un fichier dll. ....	34
Figure 3. 8 La troisième étape consiste à ajouter un fichier dll. ....	34
Figure 3. 9 configuration manager.....	35
Figure 3. 10 Active solution Platform.....	35
Figure 3. 11 la fenêtre du programme de contrôle. ....	36
Figure 3. 12 Fenêtre ALP Test.....	36
Figure 3. 13 Fenêtre form1. ....	37
Figure 3. 14 organigramme de communication avec le DMD et webcam.....	39
Figure 4. 1 : distance laser lentille L1 et L1 DMD.....	42
Figure 4. 2 Photo du faisceau laser DMD éteint. ....	43
Figure 4. 3 photo du mécanisme montrant les 2 cibles (gauche- droite L'angle entre les rails est 24°. aucune image envoyée, le faisceau est réfléchi complètement sur la cible 1. ....	44
Figure 4. 4 L'image envoyée représente un carré blanc. ....	45
Figure 4. 5 cible 1de la première image qui envoyée.....	45
Figure 4. 6 cible 2 de la première image qui envoyée. ....	45
Figure 4. 7 Changement de la position du carré blanc.....	46
Figure 4. 8 photo de la cible 1 de la deuxième image qui envoyée. ....	47
Figure 4. 9 photo de la cible 2 de la deuxième image qui envoyée. ....	47
Figure 4. 10 l'image représente un carré blanc centré de 64 pixel.....	48
Figure 4. 11 photo de laCible 2 du premier cas. ....	48
Figure 4. 12 Photo de la Cible 2 du deuxième cas.....	49
Figure 4. 13 Un carré blanc de 2x2 pixel. ....	49
Figure 4. 14 Photo de la Cible 2 du troisième cas. ....	50
Figure 4. 15 Un carré blanc de 1 pixel.....	50
Figure 4. 16 Photo de la Cible 2 du quatrième cas.....	51
Figure 4. 17 Les étapes de la transformation de l'image envoyée à la cible .....	52
Figure 4. 18 capture de webcam le déplacement de la cible.....	53

Figure 4. 19 Les étapes du traitement de l'image pour obtenir l'image envoyée.....	53
Figure 4. 20 Fenêtre signalétique d'allocation du DMD.....	55
Figure 4. 21 Représentation de l'Image généré par le programme.....	56
Figure 4. 22 Photo sur le DMD R l'Image généré par le programme.....	56
Figure 4. 23 Cible 1.....	57
Figure 4. 24 Cible 2 (cible considérée). ....	57
Figure 4. 25 L'image d'un carré blanc centré de 32 pixels .....	58
Figure 4. 26 Photo sur le DMD d'un carré blanc centré de 32 pixels.....	58
Figure 4. 27 Fenêtre signalétique de pause le DMD. ....	59
Figure 4. 28 Fenêtre "form1" représentant l'image de la cible. ....	60



Introduction  
générale

Le but de notre projet est la conception et réalisation d'un dispositif optique pour le positionnement d'un rayon laser sur des points précis de la rétine.

Le dispositif est basé sur le DMD DLP 7000 de Texas Instruments, et utilise les micro miroirs de ce dernier pour orienter les rayons laser. Les micro miroirs sont commandés individuellement, par PC, pour réfléchir les rayons laser vers les points désirés sur la rétine. Notre dispositif sera utilisé par l'équipe de Recherche BIORétine du laboratoire LATSI du Département d'électronique de l'Université de Blida, dans le cadre du projet de recherche « Analyse et synthèse de la rétine ». Dans ce même projet il servira aussi bien pour le prototypage d'un photo-coagulateur par laser, ou comme outil d'excitation de la rétine par différents longueurs d'ondes visibles, pour la création d'une base de données des réponses rétinienne.

Notre projet consiste donc à faire, dans un premier temps, une étude théorique et pratique du circuit MOEMS (systèmes- micro-opto-électro-mécanique) DMD DLP 7000 de Texas instruments. Cet équipement contenant l'interface, avec son logiciel de contrôle et DLP permet la réflexion d'un faisceau d'une source du lumière ou laser sur une cible. Dans notre cas la cible sera une simulation d'une rétine. Notre objectif est l'utilisation de cet instrument dans notre projet de recherche pour atteindre notre objectif.

L'élément principal du système est le DMD (Digital Micro Mirror Device), qui est composé de micro miroirs orientables, et qui est commandé par un circuit d'interface de contrôle, commandé lui-même par PC. Il est utilisé dans différents domaines comme la projection vidéo par rétro-projecteur ou data show, en particulier le domaine biomédical.

Le domaine biomédical est vaste ; nous nous intéressons spécifiquement à l'œil et principalement à la rétine qui est une très fine membrane sensible à la lumière, c'est un tissu neurosensoriel, qui convertit la lumière en une information visuelle qui sera transmise au cerveau. Cette rétine est la cible de nombreuses pathologies, spécifiquement la rétinopathie diabétique qui engendre les points d'hémorragie au niveaux de l'arbre rétinien, ce qui réduit la vision et peut même entraîner la cécité.

La problématique que nous devons résoudre dans ce PFE est la considération de notre cible qui est la rétine, puis l'envoi d'un faisceau commandé avec précision, de section variable selon la dimension de la tache sur la rétine en un point spécifique de coordonnées  $x,y$ . L'avantage du DMD, est que l'on peut cibler tous les Points à traiter simultanément. Ceci permettra à l'opérateur de diminuer le temps d'intervention, et augmentera le confort de l'opérateur et du Patient.

Pour atteindre notre objectif, et après une analyse du problème nous avons jugé utile de partager notre travail en quatre chapitres, encadrés par une introduction et conclusion générales.

Dans le premier chapitre on introduit des notions sur le dispositif de «digital micro Mirror device » (description, architecture, fonctionnement,...) avec une idée générale de l'utilisation de DMD avec une source laser.

Le deuxième chapitre est consacré à l'étude des utilisations de DMD avec une source laser; on a fait une étude optique pour un dispositif expérimental selon trois étapes différentes, pour piloter le rayon réfléchi par les micro-miroirs du DMD sur la rétine.

Dans le troisième chapitre nous présentons la structure du mécanisme que nous avons conçu autour du DMD. Nous montrons les limitations de sa commande par le logiciel de démonstration de VIALUX, et nous développons notre propre logiciel sous C++ Visual Studio, plus fonctionnel, et muni d'une interface graphique plus adaptée à notre application.

Dans le quatrième chapitre nous présentons les différents résultats déduits de cette expérience. Et à la fin on donnera une conclusion générale rassemblant tous nos résultats.

# **Chapitre 1**

Description et Etude du circuit de  
micro-miroirs DMD



## 1.1 Introduction

Le but de notre travail est le positionnement  $x, y$  par réflexion d'un rayon laser issu d'une source fixe en utilisant un circuit d'interface de micro miroirs du DMD : Le DMD (Digital micro-Mirror device), contrôlé par PC et visualisé par webcam.

Nous présent dans ce chapitre une étude du DMD afin de comprendre sa structure et son principe de fonctionnement.

## 1.2 Historique du DMD

La technologie DMD a vu le jour dans la fin des années 70 dans le cadre de projets d'imprimantes à micro miroirs. Mais la véritable innovation a eu lieu lorsque l'ingénieur Larry Hornbeck de Texas Instruments a su placer le dispositif sur une puce CMOS. Cela a rendu la technologie exploitable par des circuits électroniques classiques et l'on voit maintenant se vendre de plus en plus dans les projecteurs vidéo à puces DMD et ceci, dans le domaine grand public (projecteur DLP) et dans le secteur professionnel depuis la première projection publique du cinéma numérique en Europe le 2 février 2000[1][2].

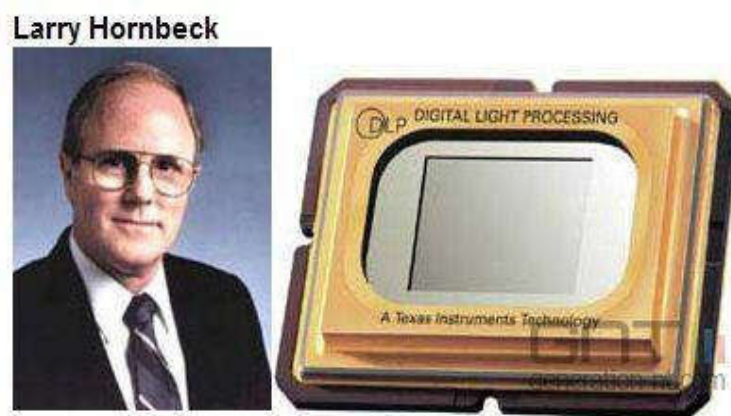


Figure 1. 1 Larry Hornbeck

### 1.3 Caractéristiques

Les systèmes à micro-miroirs orientables étudiés sont constitués d'une matrice rectangulaire de centaines de milliers de miroirs microscopiques orientables. Chacun de ces miroirs mesure moins du cinquième de la largeur d'un cheveu et correspond à un pixel dans la construction d'une image projetée **fig.1.2**.

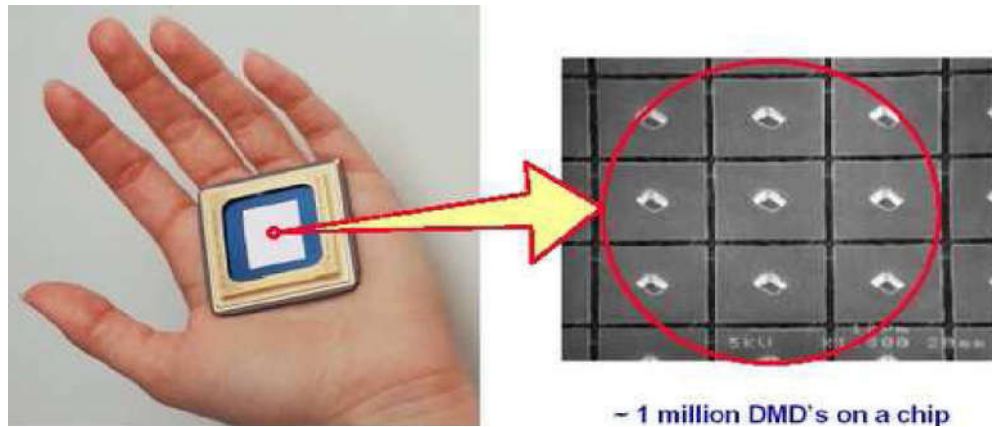


Figure 1. 2 Ordre de grandeur de la taille d'un DMD

La structure de chaque miroir est décrite par le schéma de la Figure 1.3, de même que le principe du système de projection sur la Figure 1.4.

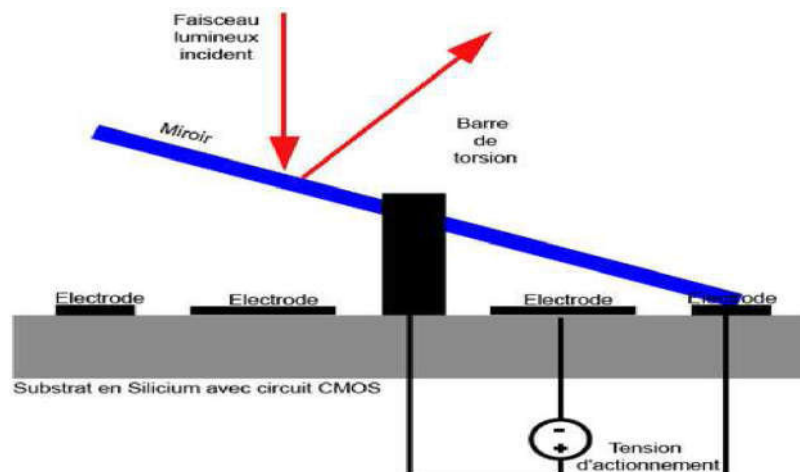


Figure 1. 3 Structure d'un miroir.

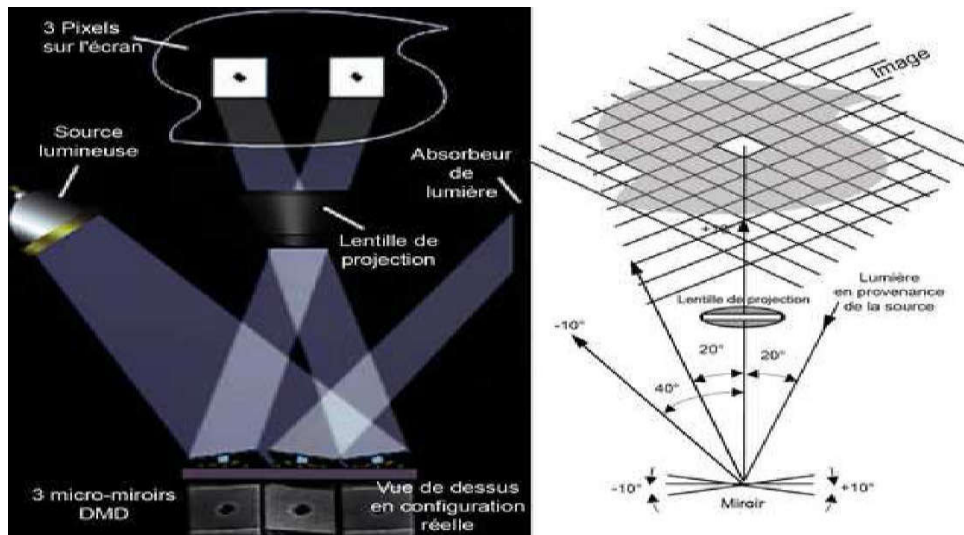


Figure 1. 4 Principe du système de projection.

Ces systèmes de projection sont caractérisés par :

- Une grande luminosité.
- Un fort contraste.
- Une échelle des niveaux de gris contrôlée par modulation digitale.
- Compacts et légers.
- Faible consommation d'énergie.

## 1.4 Architecture du DMD

Un DMD est un modulateur de lumière spatiale réfléchissant qui se compose du silicium et possède plus d'un million de pixels miroirs fait en aluminium pouvant être adressés individuellement et être commutés sur une mémoire d'accès aléatoire statique à semi-conducteur (CMOS) complémentaire à l'oxyde métallique (SRAM), comme le montre la Figure (1.5) [4]. Cette mémoire conserve les bits binaires qui contrôlent l'état des pixels du miroir en aluminium. Les éléments miroirs sont disposés dans un réseau bidimensionnel avec un espacement de 1 micromètre entre les pixels voisins. Au fil des ans, grâce à la demande d'un meilleur contrôle opérationnel et d'une efficacité optique, la technologie DMD a connu des avancées majeures.

Ceux-ci incluent une augmentation de la résolution du réseau de 128 x 128 à 2048 x

1152 micro-miroir, une réduction de la taille des pixels de  $17\ \mu\text{m}$  à  $13,68\ \mu\text{m}$ , une augmentation de l'angle d'inclinaison du miroir de  $\pm 10^\circ$  à  $\pm 12^\circ$  et l'amélioration du débit de données à partir d'un débit de données unique (SDR) pour doubler le débit de données (DDR) [4, 5]. Une puce DMD est composée de quatre couches, comme le montre la Figure (1.5) [6, 7-8]. La mémoire SRAM CMOS pivote le miroir lorsqu'une tension polarisée (5 V) est appliquée ou enlevée. L'application d'une donnée binaire à la cellule SRAM produit une distribution de charge électrostatique qui fait tourner les éléments miroirs autour d'un axe diagonal dans la direction spécifiée, comme le montre la Figure (1.6). La couche métallique 3 est composée des tampons d'adresse en métal et des sites de débarquement pour permettre l'attraction électrostatique de la culasse. La culasse est reliée à l'élément miroir recouvrant à travers un poste miroir.

La suspension de la chape, qui permet la rotation du miroir et de l'électrode d'adresse, est obtenue par les deux charnières de torsion. Ainsi, l'inclinaison de l'élément miroir est obtenue par attraction électrostatique dans les électrodes d'adresse sous-jacentes qui font tourner la chape contre une butée micromécanique. Le degré d'inclinaison du miroir ( $\pm 10^\circ$  ou  $\pm 12^\circ$ ) est limité par la position de la butée mécanique (électrode d'atterrissage) dans le substrat sous-jacent. Une rotation du miroir (Fig 1.6) à partir d'un état actif (c'est-à-dire  $+ 12^\circ$ , défini comme état ON lorsque l'électrode droite est engagée) à un autre état (c'est-à-dire  $- 12^\circ$ , défini comme état OFF lorsque l'électrode est allumée La gauche est engagée) permet la modulation de la lumière réfléchiée par chaque élément miroir, selon l'état binaire de la cellule SRAM.

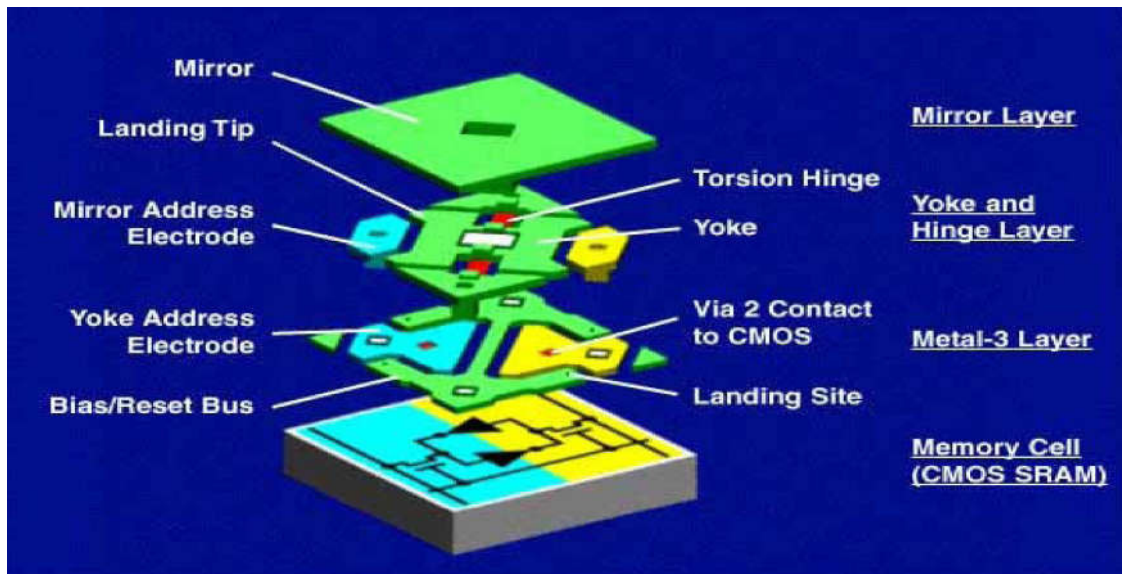


Figure 1. 5 Couche d'architecture DMD [7]

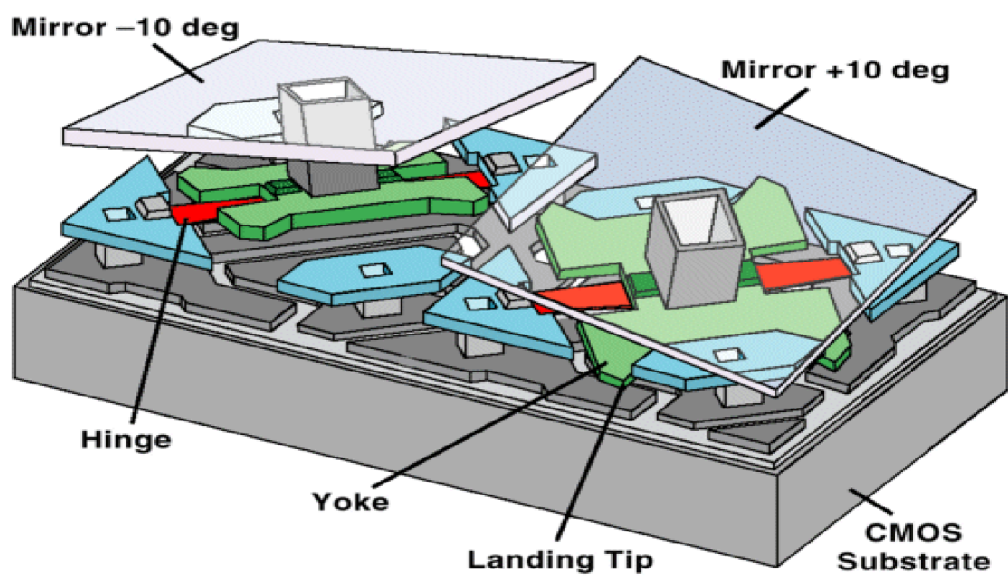


Figure 1. 6 Structure DMD de deux éléments miroirs dans différents états de commutation [9]

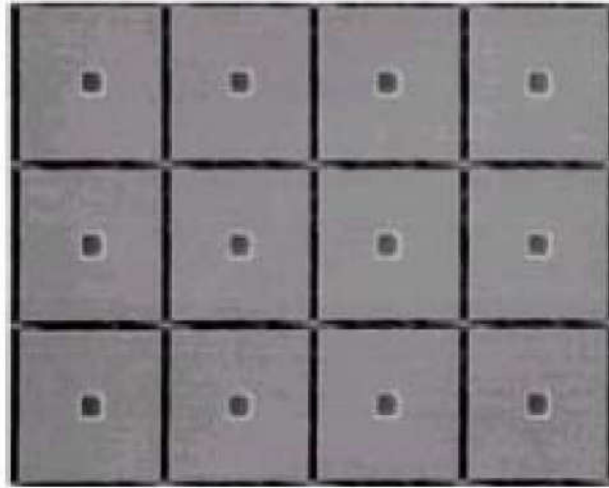


Figure 1. 7 Vue microscopique des éléments miroirs DMD à plat [10]

### 1.4.1 Fonctionnement DMD

L'opération complète du réseau DMD est réalisée par l'application d'une tension de polarisation et d'une séquence de données binaires à la cellule mémoire SRAM. L'application d'un biais est requise avant qu'un miroir puisse être tourné et verrouillé en état ON ou OFF. Généralement, un élément miroir peut avoir trois états possibles; ON, OFF ou plat comme indiqué sur la Figure(1.7). L'état ON est défini par l'une des positions du miroir correspondant à l'angle d'inclinaison  $\theta$  ( $\pm 12^\circ$ ), de sorte que la lumière réfléchiée est dirigée vers le chemin optique utile. Lorsqu'un miroir est positionné en sens inverse de l'état ON défini, le miroir est en mode OFF. L'état plat indique la position neutre du miroir ( $0^\circ$ ) lorsque la polarisation est désactivée.

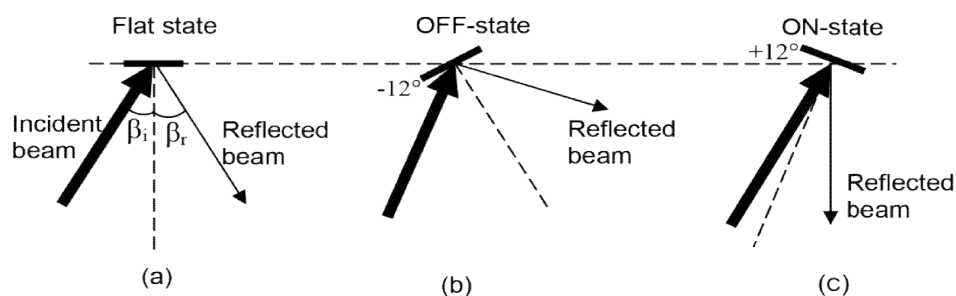


Figure 1. 8 De l'éclairage hors axe, à l'état plat, à l'état OFF et à l'état ON



Pour obtenir la lumière des éléments DMD, une source d'éclairage séparée est requise pour éclairer la matrice d'éléments. Les méthodes d'éclairage communes dirigent le faisceau incident à un angle (hors axe) ou normal à la surface de la puce, selon l'application. Dans la configuration représentée sur la Fig (1.8) , pour un miroir à l'état plat, l'angle de la lumière réfléchi est égal à l'angle du faisceau incident, c'est-à-dire  $\beta_i = \beta_r$ . La lumière réfléchi par les miroirs à l'état OFF est avancée d'un angle égal à deux fois l'angle d'inclinaison ( $\theta = -12^\circ$ ), c'est-à-dire  $\beta_r = \beta_{ro} + 2\theta$ , où  $\beta_{ro}$  est l'angle réfléchi à l'état plat. De même, pour l'état ON, le miroir est incliné à  $+12^\circ$ , de sorte que l'angle de réflexion est égal à  $\beta_r = \beta_{ro} - 2\theta$ . Le Temps de transit de l'état OFF à l'état ON est inférieur à 20 microsecondes [7], ce qui permet une modulation du faisceau incident avec une précision très élevée.

La production de l'échelle de gris (intensités de lumière) des éléments miroirs DMD est basée sur la modulation de largeur d'impulsion binaire (PWM) [4, 7]. Dans cette technique, la lumière réfléchi de chaque miroir est modulée en largeur d'impulsion par la séquence de données binaires ("ON" = 1 et "OFF" = 0) chargée dans la mémoire SRAM pendant le temps de rafraîchissement opérationnel. La période de rafraîchissement de la trame et la durée pendant laquelle chaque miroir reste en état ON dépend de la fréquence d'images vidéo (c'est-à-dire la période de rafraîchissement =  $1 / \text{cadence}$ ) et le nombre de bits d'adressage. (Vidéo 4 bits ou 8 bits), respectivement. La figure (1.9) et (1.10) montre une illustration d'un motif de séquence PWM binaire en utilisant un exemple de vidéo de 6 bits et 4 bits respectivement. Au début d'une image vidéo, le bit le plus important (MSB) dans la séquence de bits binaires est envoyé à tous les miroirs. Le miroir complet reste dans l'état défini par le MSB pendant la moitié d'un temps de rafraîchissement. Lorsque le prochain bit moins important (ou le prochain MSB) est chargé, les miroirs sont conservés pendant un quart du temps de rafraîchissement. Pour chaque bit moins important chargé dans la mémoire SRAM, les miroirs passent une période 2 fois plus courte dans l'état donné. Ce motif se poursuit pour tous les bits dans la séquence de sorte que le bit le moins significatif (LSB) consomme le temps le plus court pendant la période de rafraîchissement totale (c'est-à-dire  $1 / (2N-1)$ , où N est le nombre de bits). Étant donné que la période de rafraîchissement est beaucoup plus rapide que le

système visuel humain, la lumière pulsée résultant de l'état ON dans la séquence binaire est intégrée pour former la perception de l'intensité souhaitée. Ainsi, l'échelle de gris perçue est donnée par le pourcentage de temps pendant lequel le miroir est activé "ON" pendant une période de rafraîchissement d'exploitation.

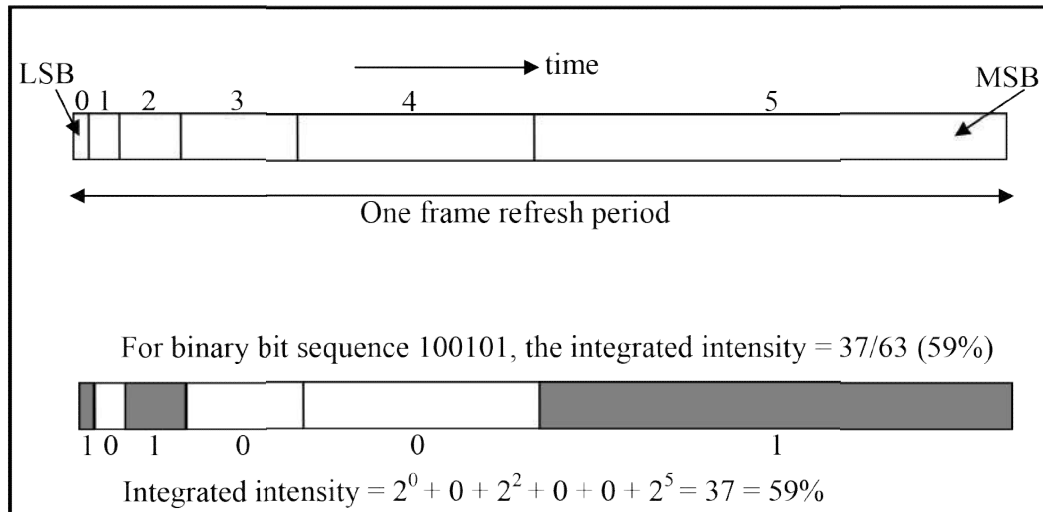


Figure 1. 9 Une illustration du modèle de séquence PWM binaire en utilisant un exemple de vidéo 6 bits

14

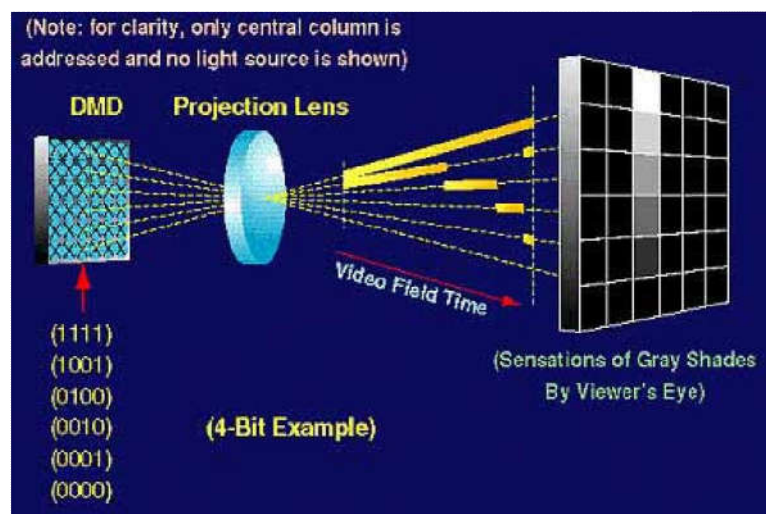


Figure 1. 10 un exemple de production de niveaux de gris avec une vidéo 4 bits



L'opération de couleur est obtenue en utilisant des filtres de couleur soit en rotation (à l'aide d'une roue de couleur) soit en stationnaire (en utilisant un système de prismes avec des filtres dichroïques interfères déposés sur leurs surfaces) pour diviser la lumière par réflexion ou transmission en composants rouges, verts et bleus (RGB). Ces filtres sont utilisés en combinaison avec un, deux ou trois jetons DMD. Pour un système à une puce ou à deux puces, la roue de couleur tournante est utilisée pour multiplexer temporairement les couleurs. Les filtres dichroïques sont habituellement utilisés dans des systèmes basés sur trois DMD.

### 1.4.2 Avantages

Voici les avantages majeurs de l'utilisation d'un DMD en tant que SLM dans plusieurs applications [04, 14, 9]:

- Les miroirs sont réfléchissants et ont un facteur de remplissage élevé (90%), ce qui donne une efficacité optique élevée au niveau des pixels.
- La vitesse de commutation rapide (environ 15  $\mu$ s) entre les états miroirs permet un affichage rapide entre les motifs d'éclairage de toutes formes et tailles.
- En allumant et éteignant le miroir rapidement par rapport à son temps de rafraîchissement, il est possible d'obtenir une gamme dynamique plus large de valeurs d'échelle de gris.
- En raison de sa capacité à large bande, le DMD peut être conçu pour moduler légèrement la lumière indépendamment de la longueur d'onde. Ceux-ci incluent l'opération dans des fenêtres ultraviolettes et infrarouges permettant ainsi une opération en dehors du spectre visible.

Après avoir discuté des avantages majeurs des DMD sur les LCD comme SLM, cependant, les SLM à cristaux liquides existent en mode transmission et réflexion et sont capables de produire une modulation d'amplitude et / ou de phase de la lumière incidente [15]. Cela rend les écrans LCD comme un choix privilégié dans les applications nécessitant un contrôle de phase du champ incident. En revanche, la DMD

produit une modulation en amplitude du champ incident en mode réfléchissant.

## **1.5 Applications et propriétés du DMD**

### **1.5.1 Utilisation du DMD avec source laser**

Le DMD a été attrayant pour beaucoup d'applications (dehors la projection cinématique) en raison de sa capacité à bande large optique de l'ultraviolet qui est utilisée comme une source de lumière pour la modulation et le contrôle de la lumière. Des recherches récentes ont montré que le DMD sera un bon candidat avec le faisceau laser, dans les domaines [16] [17] [18] [19]

- La commutation à fibres optiques.
- Orientation de rayon.
- applications biomédicales, comme la photo coagulation rétinienne par laser.
- Traitement d'images et vision artificielle.
- Lithographie à faisceau d'électrons.

La modulation du laser se fait par le changement des niveaux de gris au niveau du contrôleur, et la réflexion du laser varie selon la séquence de sortie de DMD.

### **1.5.2 Propriétés optiques du DMD**

Les propriétés réfléchissantes et la nature même du DMD en tant que SLM ont été attribuées à ses performances supérieures sur d'autres types de SLM [4, 6-11 et 12-13], sans effet néfaste résultant du mouvement du miroir. Nous présentons les principales Propriétés optiques d'un DMD par rapport à la technologie d'affichage à cristaux liquides (LCD), comme démontré dans [6]

### **1.5.3 Efficacité de la diffraction**

Le débit lumineux d'un SLM dépend du facteur de remplissage - zone de pixels SLM qui peut réfléchir activement la lumière pour créer une image projetée. La taille de pixel

DMD est de  $16\ \mu\text{m}$  carré, et l'écart de  $1\ \mu\text{m}$  entre les éléments miroirs combinés à une réflectivité élevée du miroir confèrent au DMD un facteur de remplissage plus élevé (90%) comparativement à 70% pour un écran LCD. En outre, il a été démontré dans [6] que le DMD est capable de produire 6,6 fois plus d'intensité lumineuse qu'un SLM LCD à partir d'une lumière incidente. Pour une application haute puissance, le DMD est capable de gérer une puissance incidente nettement supérieure à celle d'un LCD SLM.

### 1.6 Conclusion

La propriété du DMD que nous retenons après son étude, est la capacité d'orientation des micro-miroirs de  $\pm 10^\circ$  pour les couleurs 'noir' et 'blanc', respectivement. Il nous suffira de générer des images en noir et blanc [20]; les points blancs seront positionnés de manière à être projetés simultanément sur les points de la rétine présentant une pathologie, et nécessitant un traitement. Nous présentons, dans le chapitre qui suit, l'étude optique qui nous permettra d'implémenter un dispositif optique qui nous permettra d'atteindre notre objectif.

## **Chapitre 2**

Etude optique pour les dispositifs  
expérimentaux

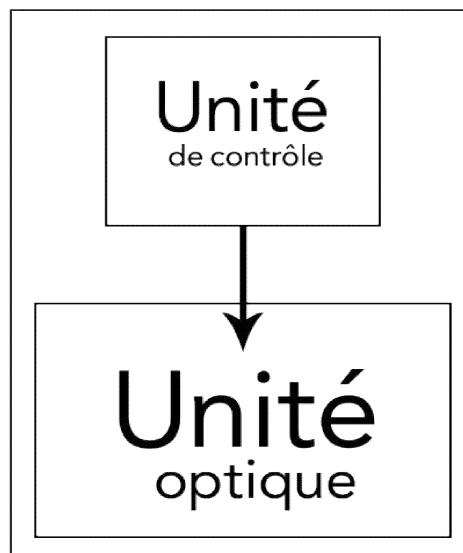
## 2.1 Introduction

Dans ce chapitre nous présentons le dispositif optique basé sur le DMD, utilisé dans le but d'orienter un rayon laser issu d'une source fixe, vers un point spécifique de la rétine.

Le DMD possède de nombreux avantages, parmi ces avantages nous nous intéressons dans le contexte de notre travail, à la précision de réflexion des rayons incidents. Cette précision est obtenue par la commande de chaque micro miroir du DMD individuellement par la programmation C++ et Matlab, pour cela nous avons utilisé ces avantages dans cette partie de travail.

## 2.2 Description du système

Nous utilisons pour orienter le rayon laser, deux (2) unités, l'unité de contrôle et l'unité optique (Fig 2.1).



**figure 2. 1** illustre des unités notre dispositif

Dans l'unité de contrôle on travaille sur un DMD model DLP 4100 (V7000) avec son contrôleur VIALUX ,ce dernier est contrôlé par un PC programmé avec (C++ visual studio 2010) .

On complète notre dispositif par l'unité optique. L'unité optique se compose d'une diode laser qui envoie le rayon à travers la première lentille optique puis réfléchié par les micromiroirs du DMD, traverse la deuxième lentille optique puis se dirige vers la rétine comme le montre le schéma bloc de la Figure (2.2) .

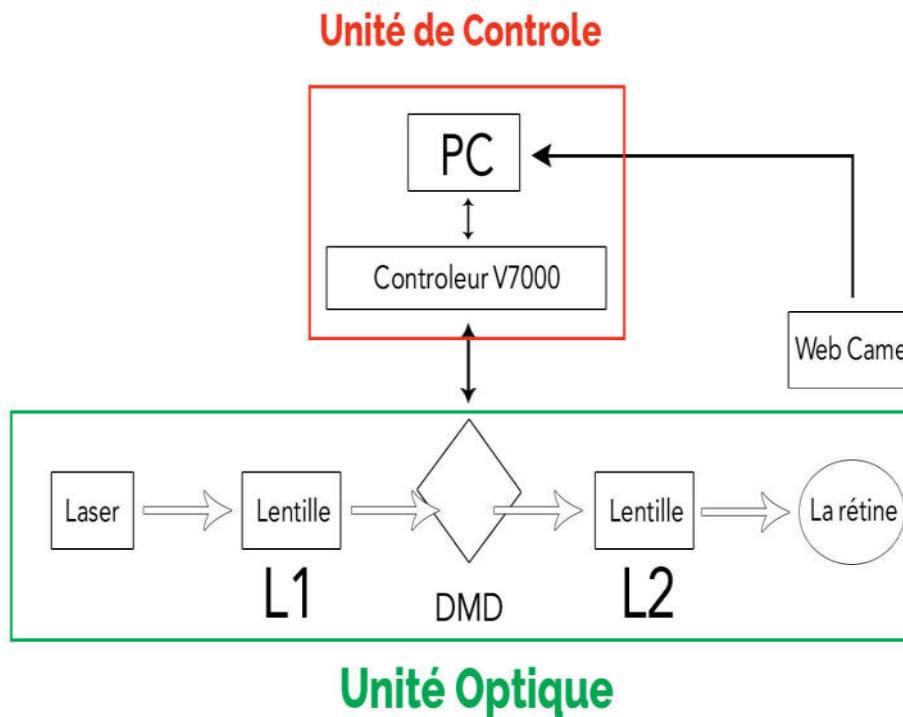


Figure 2. 2 Schéma bloc fonctionnel du dispositif opto-électromécanique

Nous avons conçu l'unité optique pour obtenir une bonne précision d'orientation du rayon laser à travers quelques étapes.

### 2.3 Étude de l'unité optique

La rétine reçoit le rayon laser, envoyé par la diode laser à travers deux lentilles optiques, réfléchi par le DMD.

La source laser est placée au point focal d'une lentille convergente L1, il en résulte un faisceau parallèle incident sur tous les micro miroir du DMD. Le rayon réfléchi est focalisé sur la rétine par une lentille convergente L2 (fig 2.3).

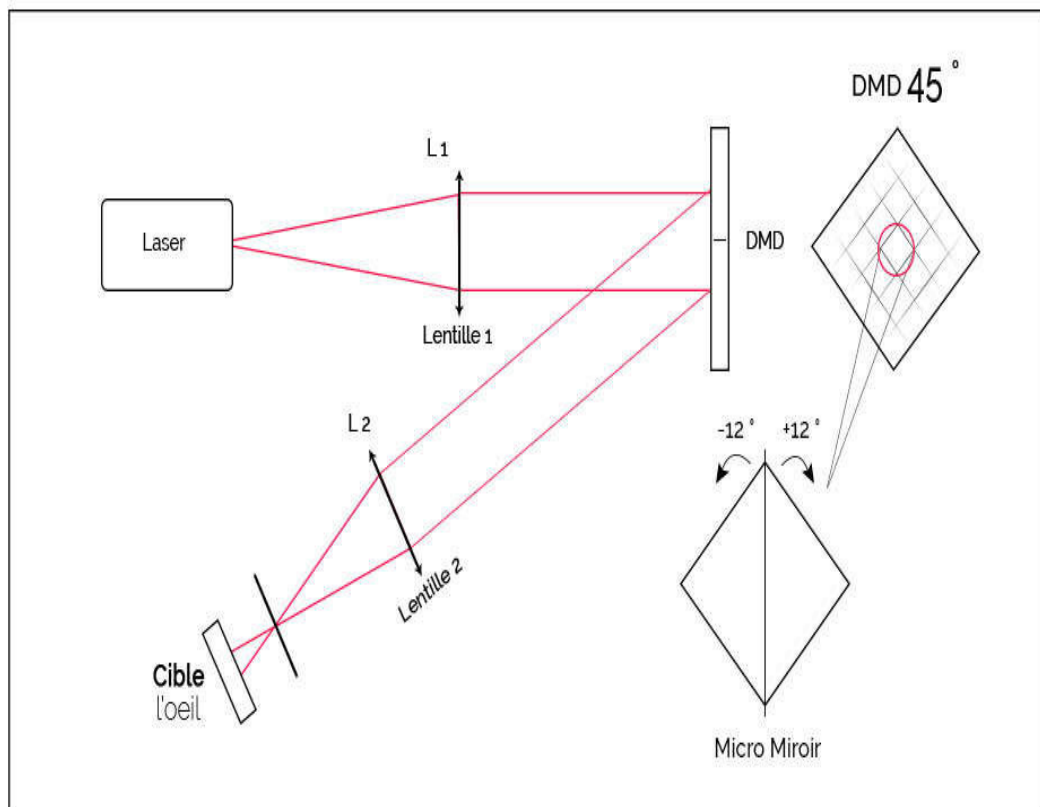


Figure 2. 3 dispositif optique

Pour atteindre notre objectif nous avons procédé à une étude présentée en trois étapes.

Etape 1 : Transmission du faisceau (de la diode laser vers DMD ).

Etape 2 : Entrée/sortie (réflexion) du faisceau dans le DMD.

Etape 3 : Transmission du faisceau ( du DMD à la rétine de l'oeil ).

### **2.3.1 Transmission du faisceau (de la diode laser vers DMD)**

Nous étudions dans la première étape la transmission du faisceau à partir de la diode laser vers le DMD à travers la lentille convergent (L1).

L'étude optique permet d'apporter des solutions pour focaliser le faisceau laser vers le DMD en utilisant la lentille L1 comme outil de focalisation. En raison de la très petite section de la matrice des micro-miroirs du DMD par rapport au faisceau incident, on a focalisé le faisceau par la lentille L1 pour obtenir un faisceau laser adapté sur toute la surface de la matrice. Tout en passant par le phénomène de décomposition et de diffraction.

#### **a. Phénomène de décomposition et diffraction du laser**

Plusieurs phénomènes sont inclus dans les systèmes optiques, parmi eux la diffraction qui contrôle la dimension de faisceau propagé par un laser. L'intérêt d'un laser est sa capacité à transporter de l'énergie dans un espace très restreint (l'épaisseur du faisceau). Pour une même puissance (en Watt) envoyée par un laser, la densité de puissance (la puissance par unité de surface) sera plus faible si le faisceau est très gros, et plus élevé si le faisceau est plus petit. [21] (Fig 2.4).



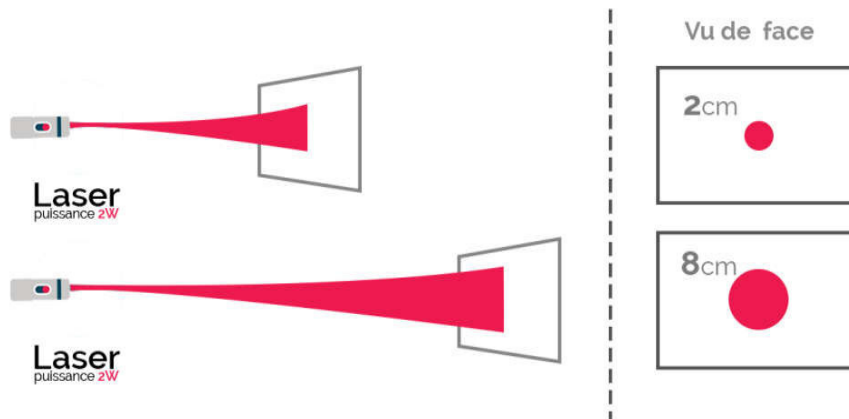


figure 2. 4 illustration sur laser et la distance

**b- Paramètre d'un faisceau laser**

La description des rayonnements cohérents issus d'un laser peut se traduire par la modélisation d'un faisceau dit « gaussien ».La géométrie et le comportement d'un faisceau gaussien dépend des paramètres suivants sa largeur et sa divergence. Le faisceau issu du laser, se propage en ligne droite, jusqu'à l'infini ce qui est une représentation fautive impossible à obtenir en théorie et en pratique (fig 2.5). Un laser produit en fait une lumière qui va « diverger » de son origine (fig 2.6).



figure 2. 5 l'image d'un Faisceau laser idéal



figure 2. 6 l'image Faisceau laser réel

### c- paramètre de focalisation du laser

Pour focalisé un rayon laser il faut utiliser une lentille convergente elle permet de converger le faisceau lumineux issue du laser. Le point de convergence est appelé point focal situé a une distance focal  $f'$  (fig 2.7 ).

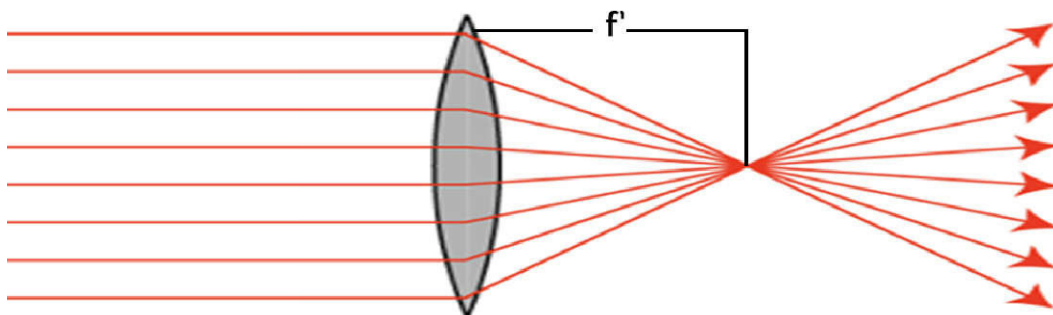


figure 2. 7 Lentille convergente

Si une source laser placée au point focal de la lentille, et dirigée en sens l'inverse, sera délocalisée et convertie par la lentille en un faisceau parallèle (fig 2.8).

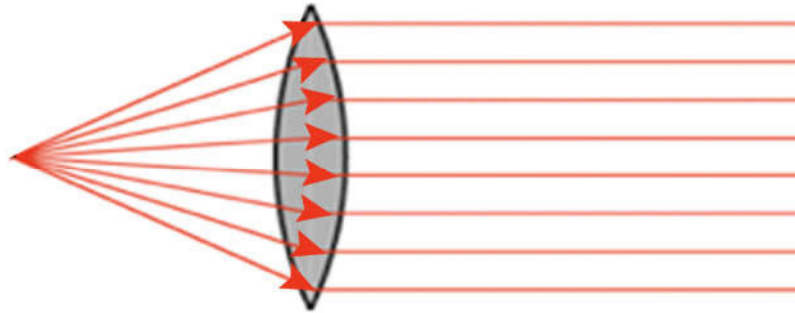


figure 2. 8 Lentille convergente

Nous utilisons cette propriété optique des lentilles convergentes pour couvrir la totalité de la surface du DMD.

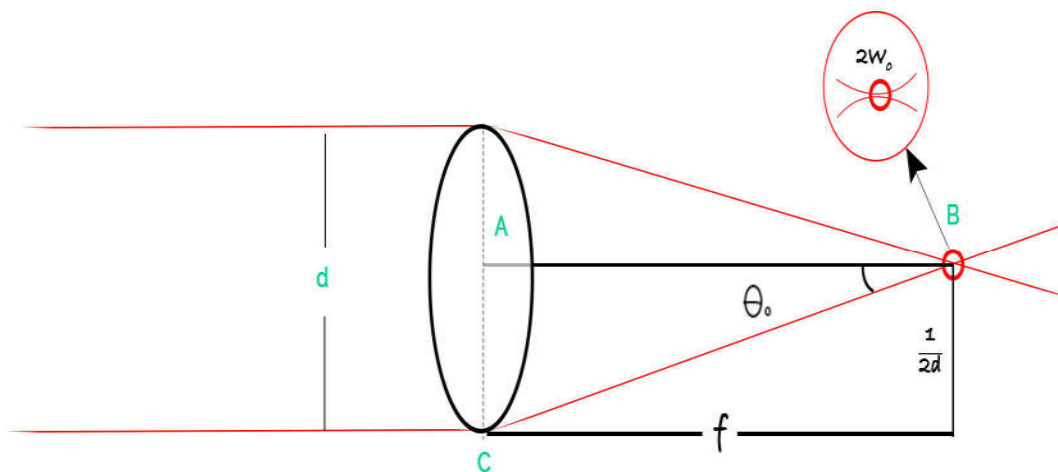


figure 2. 9 faisceau gaussien et lentille optique

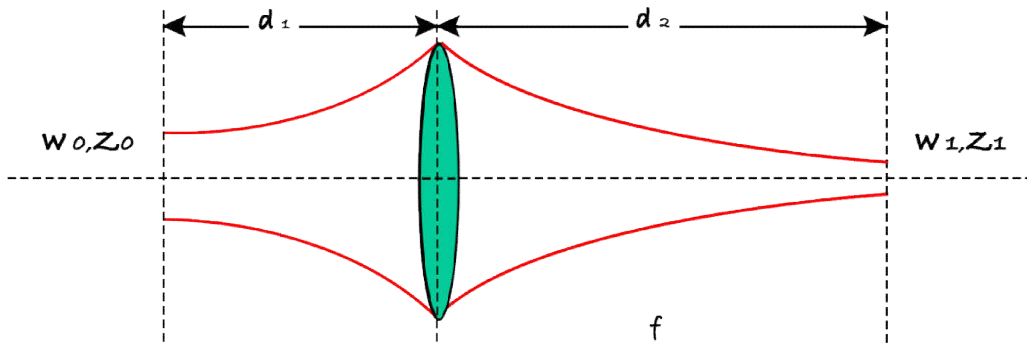


figure 2. 10 faisceau gaussien et lentille optique

$$\Theta_0 = \arctan \frac{1}{2} \frac{d}{f}$$

ou bien

$$\Theta_0 = \frac{2}{\pi} \frac{\lambda}{2w_0}$$

la figure(2.10) permet de se représenter rapidement l'effet d'une lentille convergente caractérisé par sa vergence  $V=1/f'$  (paramètre de classification des lentille) : en somme, un faisceau laser est focalisé par la lentille et permet d'obtenir un autre endroit où l'épaisseur du faisceau est la plus faible, après la lentille : le second waist  $w_1$ . On voit sur l'image que  $w_1 < w_0$  donc que la puissance surfacique au niveau de ce waist sera beaucoup plus importante que sur le premier.

La figure (2.9) représente un faisceau lumineux parallèle donc on considère que la lentille est placée au niveau du waist de ce faisceau, l'épaisseur totale

vaut donc  $2w_0=d$ . Du fait de la nature même de la lentille convergente, les rayons vont converger à un endroit fixé par la vergence de la lentille. Si la vergence vaut  $V=2$

dioptrie, alors  $f' = 1/V = 1/2 = 0.5$  mètres, les rayons lumineux convergent sur la distance  $f$  qui vaut 50 cm (au point B). On a représenté des rayons lumineux qui se croisent au niveau du point de focalisation (de convergence) : en réalité, ils ne se croisent pas mais forment bien un waist, comme le montre la flèche, l'épaisseur du faisceau vaut  $2w_1$ . Ce waist, est plus petit que le premier waist d'épaisseur  $d/2$  situé avant la lentille. Cela permet d'atteindre des puissances surfaciques très importantes.

Pour obtenir un waist d'épaisseur voulue : triangle ABC,  $\tan \theta = AC/AB = d/2 / f$   
D'où  $\theta = \arctan (1d/(2f))$ . la formule précédente qui illustre la divergence. Notons que l'angle  $\theta_0$  est bien l'angle entre l'axe de propagation et la direction du faisceau lumineux cette angle n'est autre que l'angle maximal de divergence, on peut donc comparer les deux formules.

La première formule  $\theta = \arctan (1d/(2f))$  nous permet de dire que si la  $f$  diminue, (donc  $V$  augmente),  $\theta$  augmente et dans la deuxième formule, si  $\theta$  augmente, alors le waist diminue. Finalement pour obtenir des puissances surfaciques très importantes il faut une lentille convergente de haute vergence, ou de distance focale  $f'$  faible. [21]

### 2.3.2 Entrée/sortie (réflexion) du faisceau dans le DMD

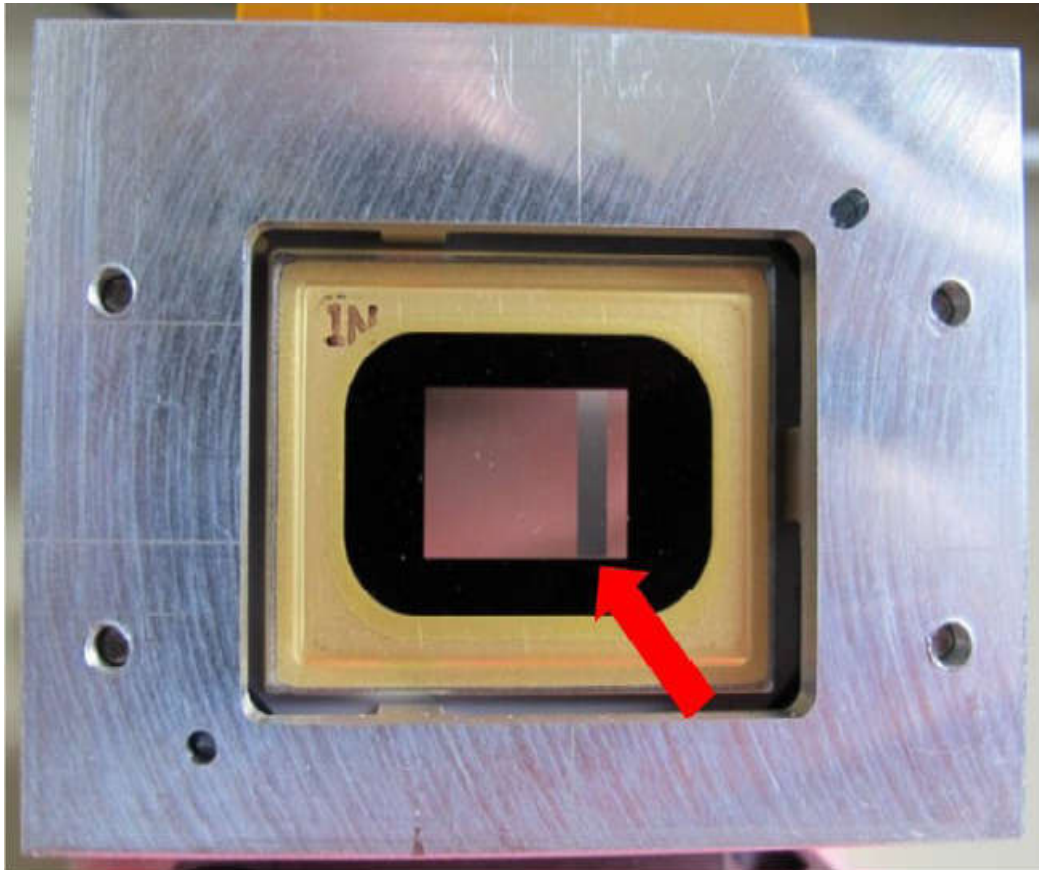
Cette partie est constituée d'une entrée du faisceau laser incident, et d'une sortie du faisceau laser réfléchi. Ce faisceau laser réfléchi est contrôlé par la matrice de micro miroirs du DMD.

#### a. Les paramètres de la matrice (Micro Miroirs)

La grille de micro miroirs, également appelée (Digital Micro mirrors Device) ou DMD (carte V4100 DLP®, ViALUX, voir la figure (2.11) comprend  $1024 \times 768$

miroirs, Chaque micro miroir a une dimension de  $13,6 \mu\text{m}$ . qui peut être incliné le long de son axe diagonal de ( $\pm 12^\circ$  degrés) séparément (position ON ou OFF) [22].

La réflexion de faisceau sera le double de l'angle d'inclinaison du micro miroir la figure (2.12) .



**figure 2. 11** Vue de face de la grille micro Mirror .un petit la section des miroirs est réglée sur ON (indiqué par la flèche rouge) qui peut être considérée comme une bande dans la surface de la grille.

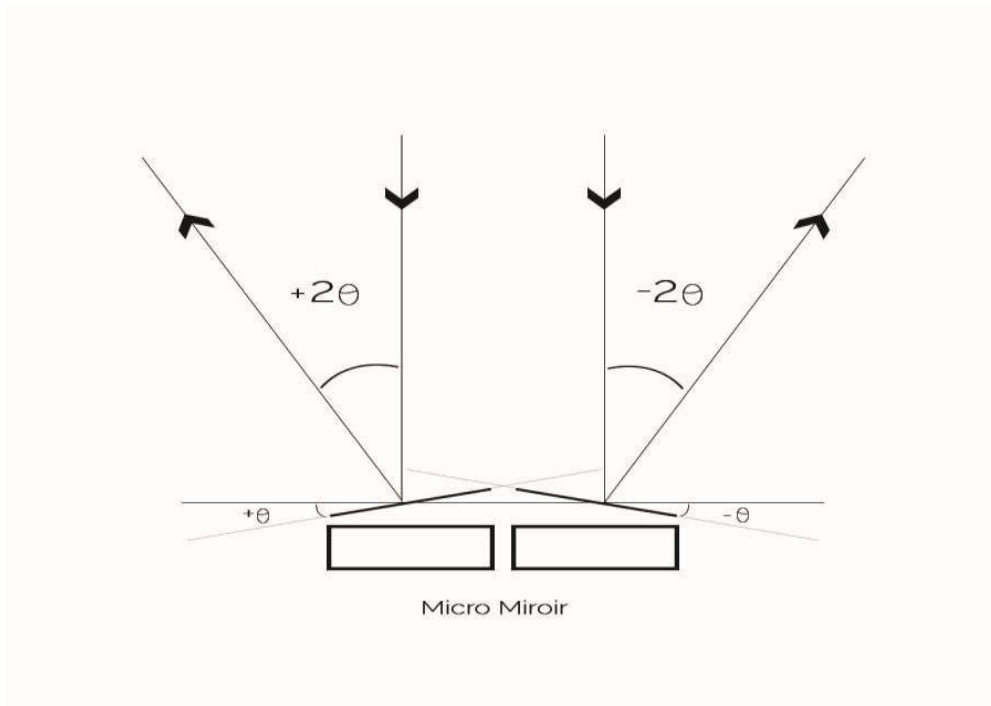


figure 2. 12 Schéma de la réflexion de faisceau

### 2.3.3 Transmission du faisceau (du DMD à la rétine)

Dans cette partie nous étudions la transmission du faisceau réfléchi par le DMD vers la rétine de l'œil et focalisé par la lentille convergente L2.

#### a-La structure de l'œil

L'œil est un organe sphérique creux, dont le rôle est de capter la lumière. Sa paroi interne est constituée de 3 enveloppes :

- La **sclérotique** très blanche qui sert de protection. En avant de l'œil elle devient la cornée
- La **choroïde**, enveloppe noire et très vascularisée qui sert de chambre noire.
- La **rétine** qui a un aspect irisé, elle contient les cellules qui captent la lumière.

Le cristallin est une lentille à la verticale qui sépare l'œil en deux chambres qui contiennent les humeurs aqueuse et vitrée, présenté sur le schéma ci dessous fig(2.13).

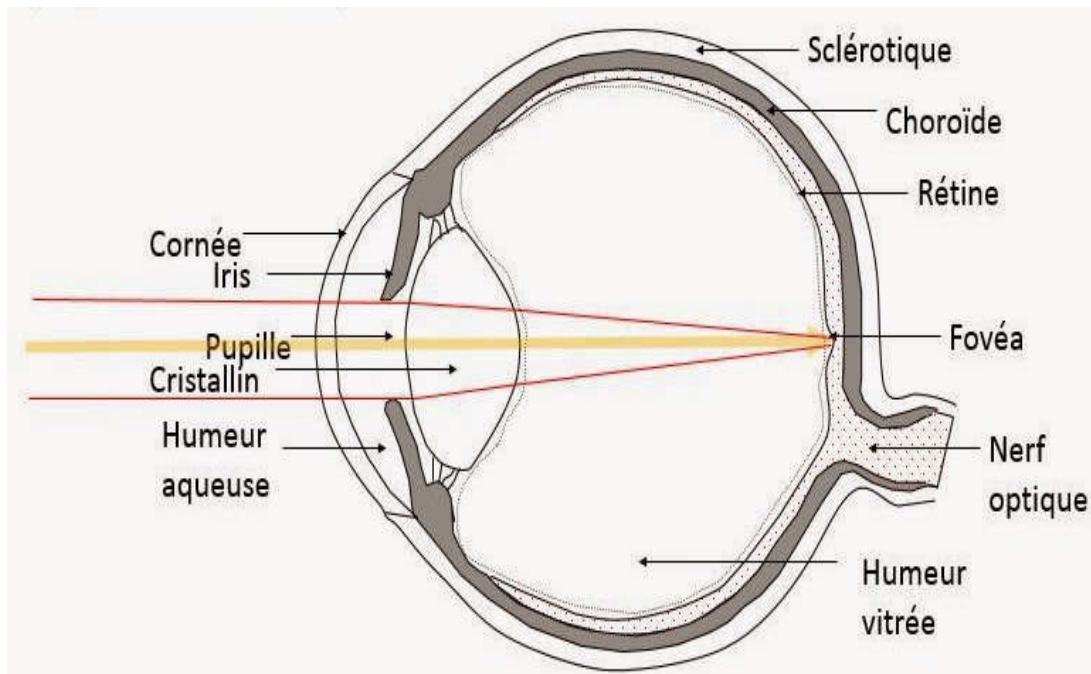


figure 2. 13 schéma de la rétine humaine

Pour accéder à la rétine la lumière doit donc traverser plusieurs tissus (cornée/humeur aqueuse/cristallin/humeur vitrée) qui ont tous la particularité d'être transparents. Le plus important est le cristallin, qui est une lentille biconvexe transparente et flexible. Son rôle est de focaliser la lumière sur la rétine : grâce à sa flexibilité, il est responsable du phénomène d'accommodation ; adaptation de la vergence qui permet la vision nette de près et de loin pour un œil normal. [23]

### **b-L'incidence du rayon réfléchi par le DMD sur la rétine**

Chaque point du champ visuel est réfléchi en son image (unique) sur la rétine ; donc quand la pupille laisse passer la totalité de l'image réfléchie par le DMD, alors chaque point de la rétine reçoit le point de l'image du DMD qui lui était destiné.



## 2.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié les phénomènes optiques relatifs aux lentilles et nous avons déduit le dispositif optique constitué par les lentilles convergentes L1 et L2, la source laser fixe, et les micro miroirs du DMD. Dans le chapitre suivant nous abordant l'unité de control qui commande la partie optique est contrôlée par la programmation du contrôleur VIALUX du DMD.

## **Chapitre 3**

Conception et commande  
du mécanisme

### 3.1 Introduction

Nous avons étudié dans le chapitre précédent notre dispositif, qui se compose de deux unités, une unité de contrôle et une unité optique.

Dans ce chapitre nous présentons, le logiciel de commande de l'unité de contrôle et le dispositif opto-électromécanique complet.

Nous utilisons au début le logiciel de commande du DMD ALP high-speed Demo de VIALUX pour générer les différentes images, et les envoyer à la puce DMD. Mais cette application prend du temps pour charger cinq images uniquement; pour cette raison nous avons développé une application sous C++ visual studio pour générer rapidement les images qui vont commander l'orientation du laser sur la cible.

### 3.2 Matériel:

Le matériel utilisé dans le laboratoire d'optique, au niveau du département de physique, est composé des éléments suivants : Une source laser monochromatique, 3 Lentilles convergentes, un DMD model DLP 4100 avec son contrôleur (V7000) de VIALUX, 2 cibles, un système de rail avec des supports pour des parties optiques, une webcam, et un micro ordinateur. L'ensemble des éléments utilisés sont représentés sur la figure (3.1).

1. Laser monochromatique
2. Lentille convergente (L2.L2').
3. Lentille convergente (L1).
4. DMD.
5. Cible (2).
6. Cible (1).
7. PC.
8. les rails.

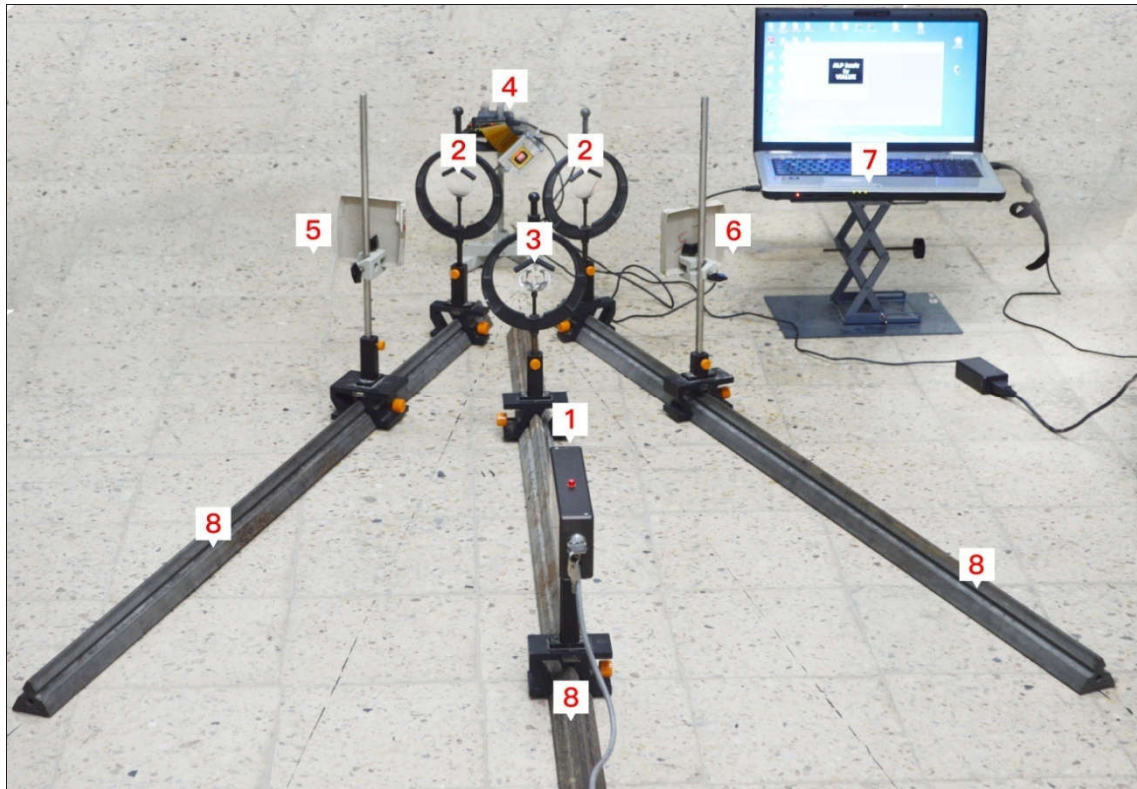


figure 3. 1 photo de l'ensemble des éléments composant le system utilisé au laboratoire.

### 3.3 Méthode d travail

#### 3.3.1 Partie expérimental optique

L'étude optique et l'étude de DMD nous ont permis de déterminer les différents paramètres de notre système optique à réaliser. L'installation expérimentale est représentée sur la figure3.2. Nous avons appliqué les formules optiques du chapitre 2 pour déterminer les distances (que nous avons affinées manuellement)

Nous avons fixé un laser monochromatique (0,2 mW; 632.8 nm) à une distance de 186 cm du DMD. Le faisceau est émis à travers une lentille de focalisation L1 possédant une distance focale de 6cm. La distance entre L1 et le DMD est de 68cm.

C'est à travers deux lentilles de focalisation symétrique L2,L2' (point focal de 15cm) qui sont séparées par une distance de 21 cm du DMD, que les micro miroirs du DMD réfléchissent le faisceau d'un angle de +24° vers la cible 1 et un angle de -24° vers la cible 2, ces dernières sont éloignées d'une distance de 84cm par rapport au DMD

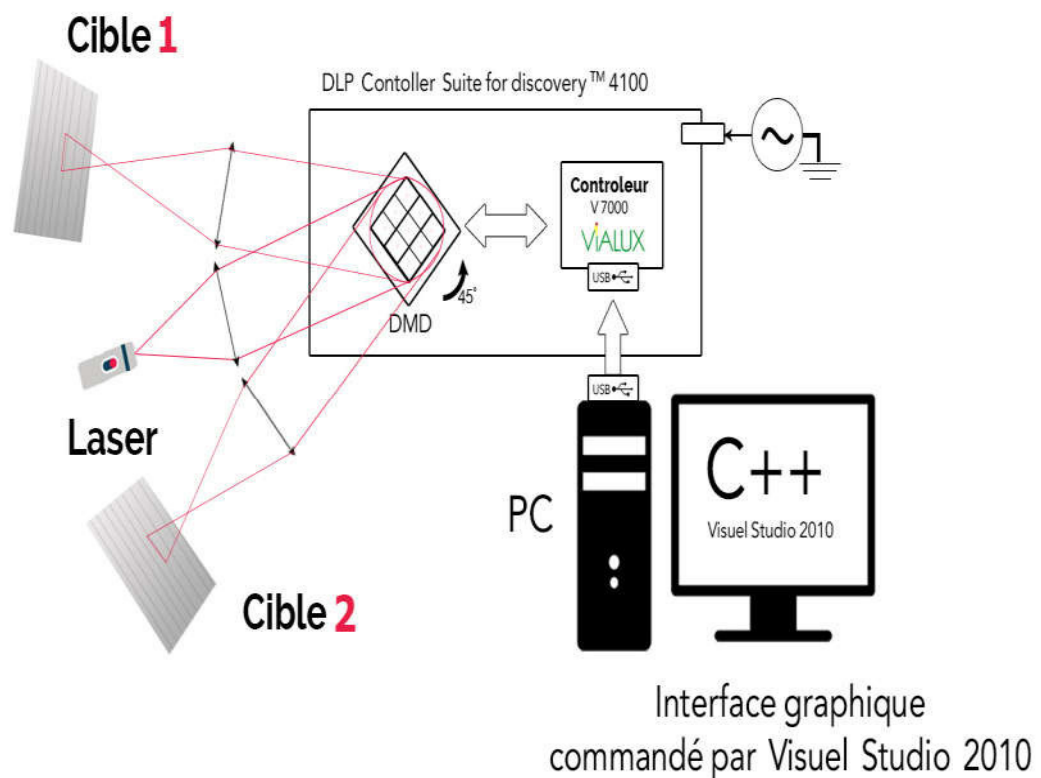
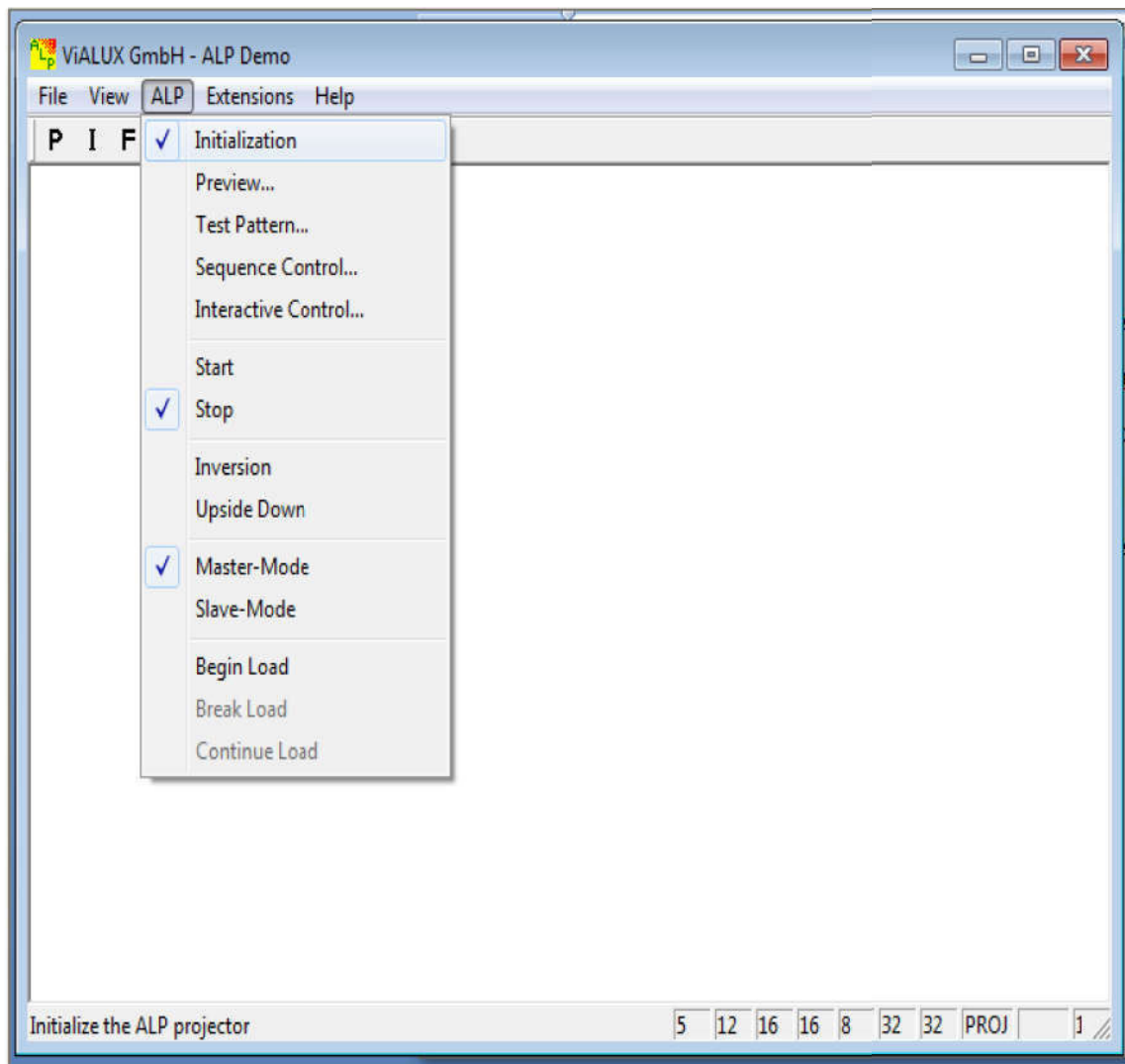


figure 3. 2 Schéma de fonctionnement du mécanisme montrant la commande par PC.

### 3.3.2 Partie commande

#### 3.3.2.1 Commande par VIALUX

Après connexion du DMD au PC via le (Mini USB-B), il y a détection et installation des drivers. Le lancement du logiciel d'origine de VIALUX, pour la commande du DMD via le contrôleur FPGA de VIALUX affiche la fenêtre principale fig (3.3).



**figure 3. 3** Fenêtre principale de VIALUX GMBH (ALP Démo).

Pour l'accès à la fonction du système, La connexion du DMD sera activéepar le bouton "Initialization" ; après quelques secondes plusieurs séquences sont générées par le programme, et la fenêtre de contrôle des séquences apparaît. (fig 3.4)

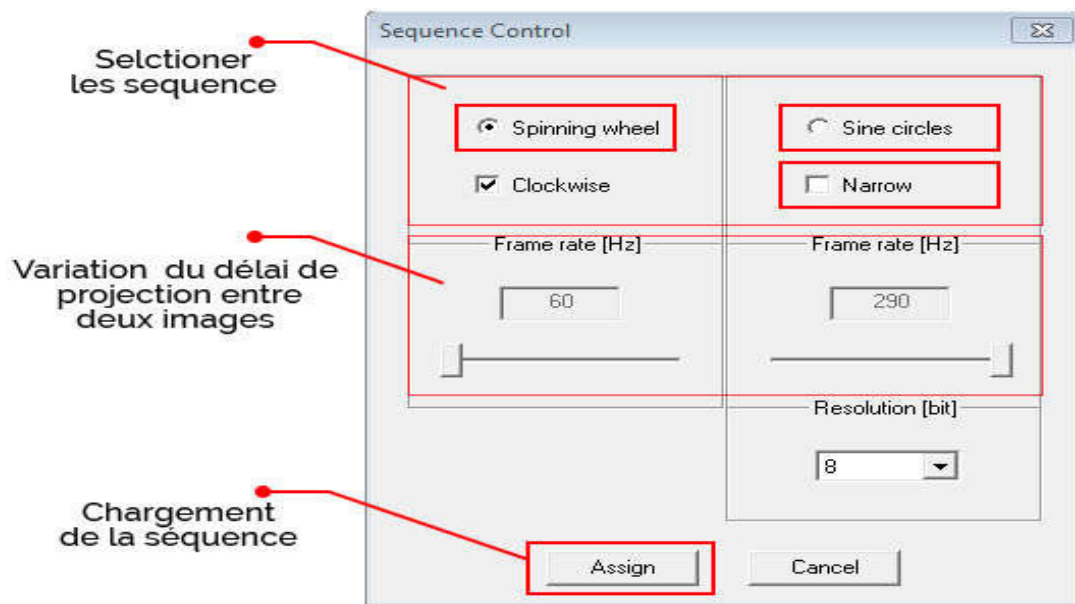


figure 3. 4 Séquence control.

Cette fenêtre nous permet de sélectionner 3 séquences différentes :

Séquence n°1 : charger jusqu'à 5 images à partir de fichiers créés auparavant.

Séquences n°2 : motifs de test binaires (Test Pattern, spinning wheel) et l'échelle de niveaux de gris

Séquences n°3: (Wedge - see-saw, Sine circles, Sine circles narrow).

Le choix de la première séquence nous a permis de projeter une séquence de 5 images sur le DMD, avec un délai de projection variable [24].

### 3.3.2.2 Commande par langage C++ (Visual Studio 2010)

Le nombre d'images, que l'application ALP démo (présenter dans la section précédent), est insuffisant et ne nous permet pas d'atteindre notre but (qui est de contrôler dynamiquement en temps réel le positionnement des rayons laser réfléchis sur la rétine). Nous avons donc implémenté notre propre logiciel pour pouvoir charger et envoyer au DMD un grand nombre d'images

La première étape a été de faire face aux problèmes de compatibilité pour pouvoir accéder au pilote du DMD. Nous avons donc commencé par la configuration des logiciels que nous avons utilisés avant d'écrire notre programme.

### 3.3.3 Implémentation du programme

#### 3.3.3.1 Configuration du logiciel

##### a-Logiciel utilisé (Visual studio 2010)

Visual Studio est un ensemble complet d'outils de développement permettant de générer des applications web ASP.NET, des services web XML, des applications bureautiques et des applications mobiles. Visual Basic, Visual C++, Visual C# utilisent tous le même environnement de développement intégré (IDE), qui leur permet de partager des outils et facilite la création de solutions faisant appel à plusieurs langages. Par ailleurs, ces langages permettent de mieux tirer parti des fonctionnalités du Framework .NET, qui fournit un accès à des technologies clés simplifiant le développement d'applications web ASP et de services web XML grâce à Visual Web Développer [24] fig (3.5).



figure 3. 5 Logo de Visual studio 2010.

##### b-Configuration

Parmi les problèmes que nous avons rencontrés, la version de Windows (32bit 64bits). Le fichier "ALPv42.DLL" a été sélectionné pour correspondre à la version utilisée et a été ajouté par la suite et placé dans la bibliothèque de notre projet, et aussi dans le dossier Directory/bin/Debug(fig. 3.6,3.7 et 3.8).



Puis l'étape suivante on a ouvert la fenêtre "configuration manager" on a sélectionné de la liste "Any CPU" dans la partie "Active solution platform"; l'étape de configuration est terminée (fig 3.9 et 3.10).

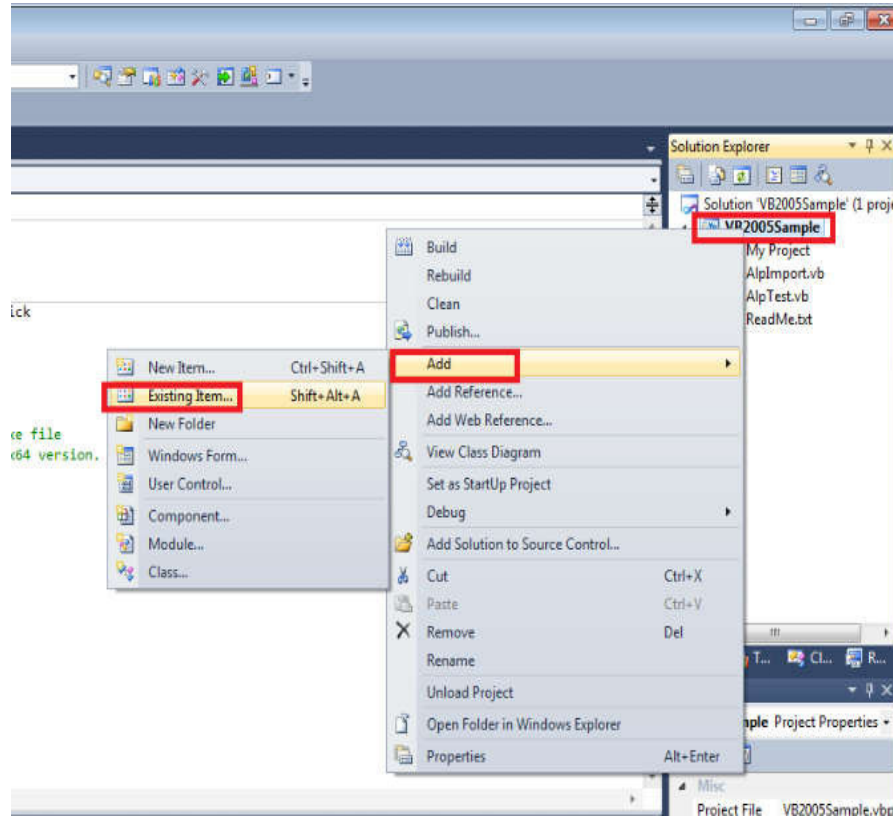


figure 3. 6 La première étape consiste à ajouter un fichier dll.

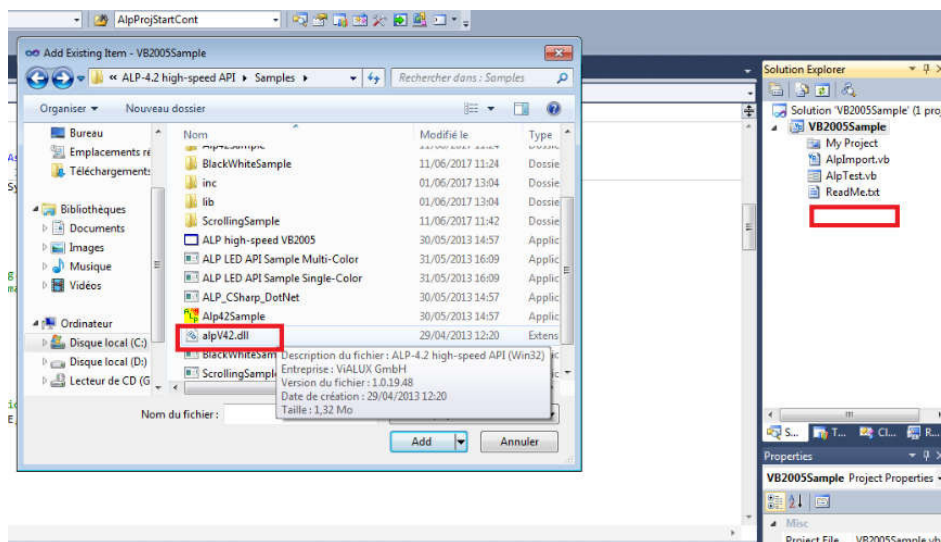


figure 3. 7 La deuxième étape consiste à ajouter un fichier dll.

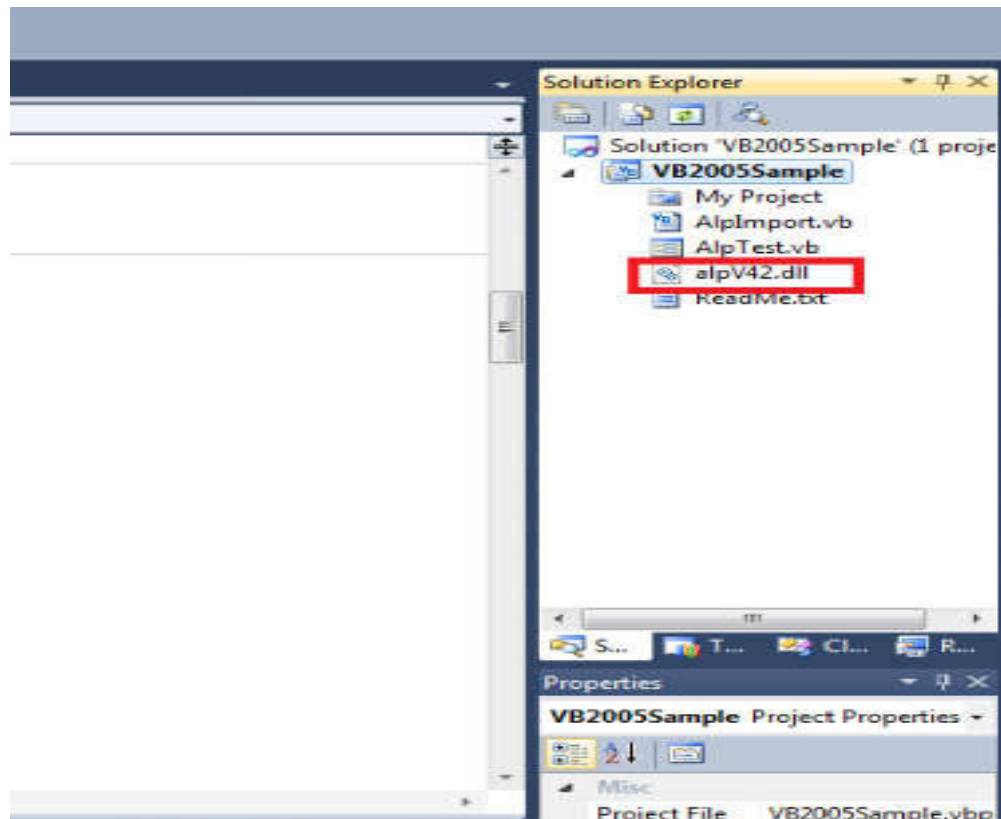


figure 3. 8 La troisième étape consiste à ajouter un fichier dll.



figure 3.9 configuration manager.

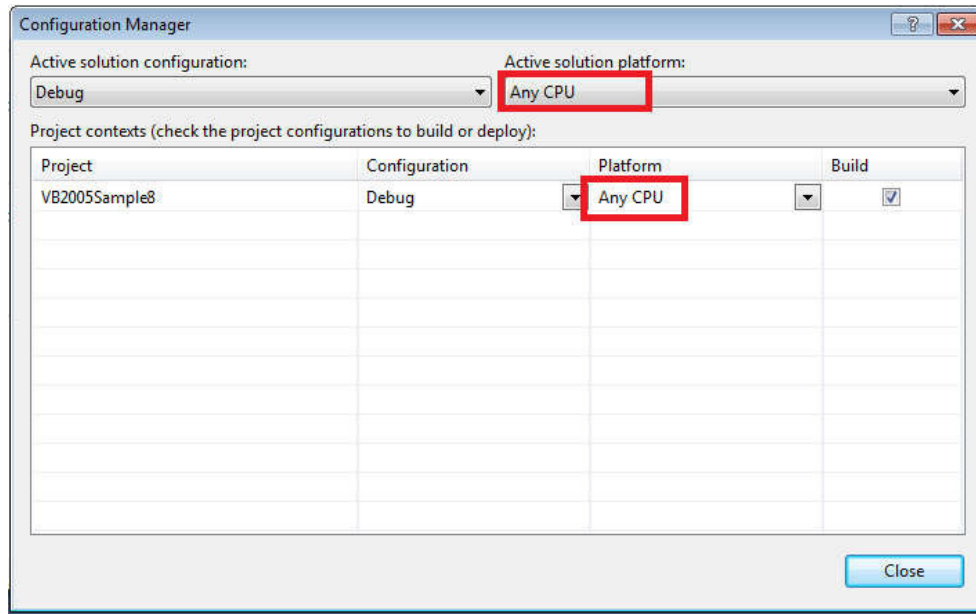


figure 3.10 Active solution Platform.

### 3.3.3.2 Conception et implémentation de l'interface graphique

La conception du programme de contrôle permet de se connecter au DMD et à la webcam (fig.3.14), qui est visualisée comme une fenêtre sur écran avec des boutons d'appel comme le montre la figure 3.11.

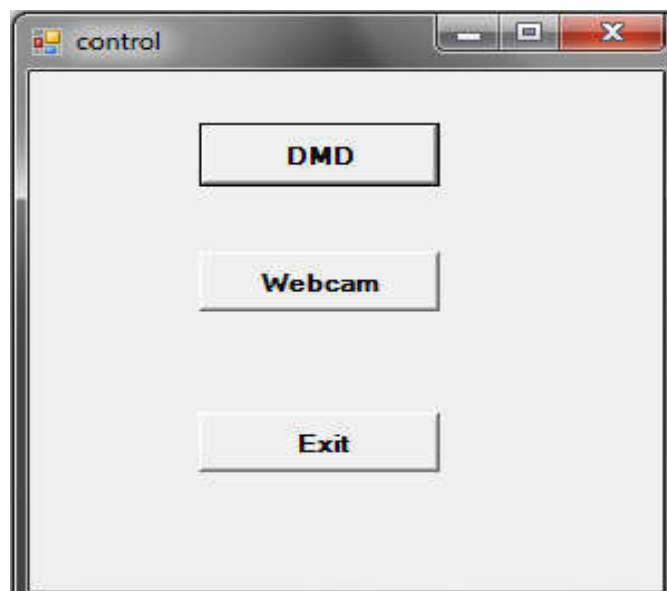


figure 3.11 la fenêtre du programme de contrôle.

- la sélection du premier bouton 'DMD' fait appel à l'interface de contrôle du DMD appelée "ALP Test" ( fig. 3.12), inclut 5 boutons.

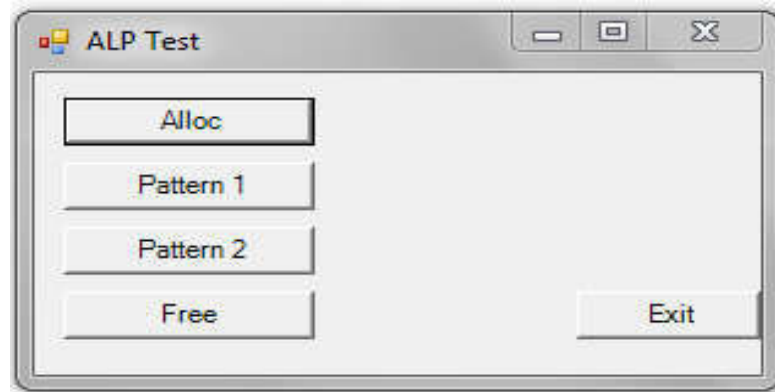


figure 3.12 Fenêtre ALP Test.

- Cette fenêtre permet la sélection du bouton "**Alloc**" qui fait l'appel au fonction **AlpDevAlloc** responsable à l'allocation du DMD.
- La sélection du bouton "**Pattern 1**" active la fonction **AlpProjStartCon(1)** qui envoie un seul pattern 64X64 carré mémorisé au DMD.
- Le bouton "**Pattern 2**" active la fonction **AlpProjStartCon(2)** qui envoie le même pattern à 128X128 carré.
- La sélection du bouton "**free**" permet de l'appel au fonction **AlpDevHalt** qui libère et de met en position "**OFF**" le DMD.
- Enfin le bouton "**Exit**" ferme la fenêtre et l'application.
- La sélection du bouton "**Webcam**" dans la fenêtre du programme de contrôle permet de l'appel de l'Interface "**form1**" comme indique la figure 3.13.

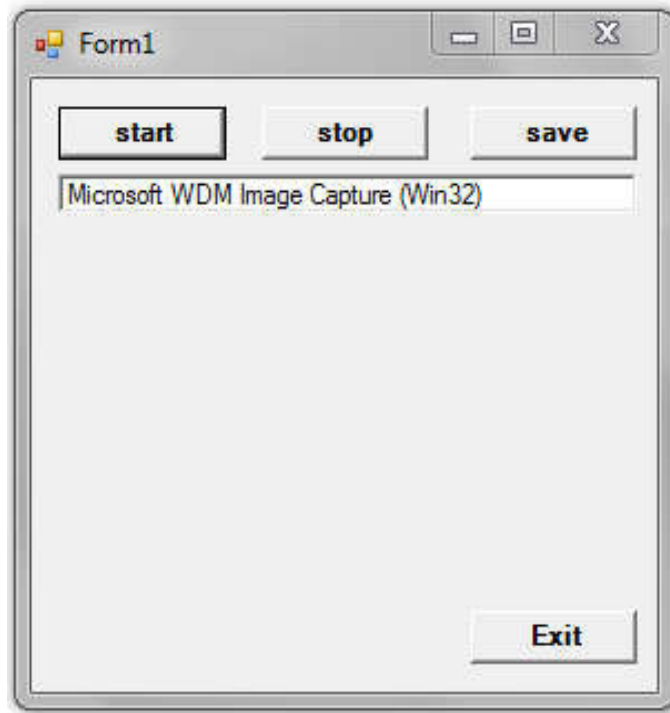


figure 3.13 Fenêtre form1.

La fenêtre "**form1**" nous permet de sélectionner les boutons suivants :

- La sélection de Bouton "**Start**" permet de mettre la camera en position ON et active le transfert d'image, l'image sera présentée dans l'espace de la fenêtre.
- Le bouton "**Stop**" arrête le camera.
- Le bouton suivant "**Save**", la sélection permet de capturer et mémoriser l'image instantanée,
- et enfin le bouton "**Exit**" ferme la fenêtre de "**form1**".

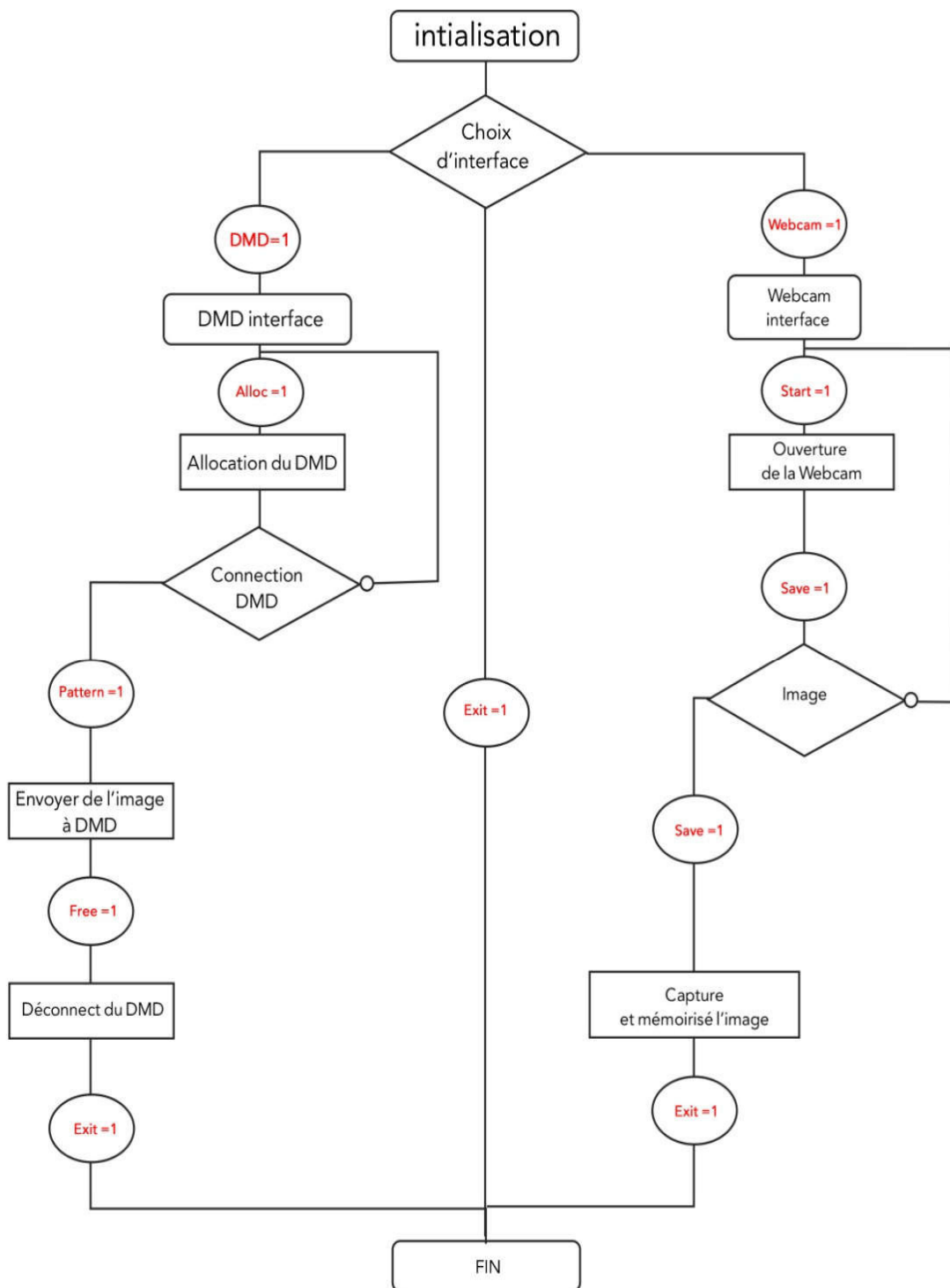


figure 3.14 organigramme de communication avec le DMD et webcam.

### 3.3.3.3 Implémentation du programme

#### a. Programme

L'interface de contrôle pour la communication et la synchronisation de la webcam avec le programme principal ALP test du DMD, permet l'accès par des boutons de commandes, affichés sur la fenêtre du programme de contrôle.

La structure du programme d'interface du contrôle est représentée comme suite :

```
PublicClasscontrol

PrivateSub Button1_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles
Button1.Click
AlpTest.Show()//appel a l'interface de contrôle DMD.

EndSub

PrivateSub Button2_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles
Button2.Click
webcam.Show()// appel a l'interface " form1".

EndSub

PrivateSub Button3_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles
Button3.Click
Me.Close()// Sortie du programme.

EndSub
EndClass
```

L'écriture du sous programme de Webcam pour la visualisation et capture de l'image de la cible. Le sous programme est représenté ci dessous :

#### Button save

```
PrivateSub btnSave_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles
btnsave.Click// capturer et mémorisé l'image
Dim data As IDataObject
Dim bmap As Image
SendMessage(hwnd, WM_CAP_EDIT_COPY, 0, 0)
data = Clipboard.GetDataObject()
If data.GetDataPresent(GetType(System.Drawing.Bitmap)) Then
bmap = CType(data.GetData(GetType(System.Drawing.Bitmap)), Image)
picCapture.Image = bmap
ClosePreviewWindow()
btnsave.Enabled = False// ...
btnstop.Enabled = False
```

```

    btnstart.Enabled = True
    If sfdlImage.ShowDialog = DialogResult.OK Then
        bmap.Save(sfdImage.FileName, Imaging.ImageFormat.Bmp)
    EndIf
EndIf
EndSub

PrivateSub ClosePreviewWindow()
    SendMessage(hHwnd, WM_CAP_DRIVER_DISCONNECT, iDevice, 0)
    DestroyWindow(hHwnd)
EndSub

PrivateSub Form1_Load(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles MyBase.Load
    LoadDeviceList()
EndSub

```

### Button start

```

PrivateSub btnStart_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles
    btnstart.Click // active la webcam .
        OpenPreviewWindow()
        btnstart.Enabled = False
        btnstop.Enabled = True
    EndSub

```

### Button stop

```

PrivateSub btnStop_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles
    btnstop.Click // arrête le camera.
        ClosePreviewWindow()
        btnstart.Enabled = True
        btnstop.Enabled = False
    EndSub

```

### Button exit

```

PrivateSub Button1_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles
    Button1.Click
    Me.Close() // Sortie du programme.
EndSub

```

## 3.4 Conclusion

Nous avons pu établir la communication avec le DMD en implémentant un programme c++ faisant appel aux fonctions de bibliothèque de VIALUX grâce à une configuration adéquate de l'environnement de développement. Nous avons également conçu et



réalisé un dispositif optique autour du DMD, pour positionner des rayons lasers en des points fixes, sur une cible, dont la position peut changer.

Dans le chapitre suivant, nous réalisons des expériences avec notre dispositif, et nous développons des sous programmes pour montrer les fonctionnalités du DMD, et valider notre programme de commande, par les résultats obtenus.

## **Chapitre 4**

Implémentations et résultats

## 4.1 Introduction

Dans ce chapitre nous réalisons plusieurs expériences pour mettre en évidence le réglage du dispositif optique, et les commandes nécessaires à la modulation du rayon laser, pour dimensionner et façonner le rayon réfléchi. Nous montrons que nous pouvons obtenir un faisceau de section minimale correspondant à la surface d'un pixel. Nous avons développé des programmes pour générer des faisceaux de motifs différents pour cible fixe ainsi que pour la poursuite d'une cible en déplacement quelconque. Nous considérons dans notre cas une simple translation.

Nous avons présentons dans ce chapitre les expériences et les résultats obtenus .

## 4.2 Implémentation et résultats

### 4.2.1 Réglages des distances, DMD éteint

Dans cette partie nous effectuons l'ajustement des distances entre source laser, la lentille L1 et le DMD, pour l'obtention d'un faisceau à rayons parallèles après la traversé de la lentille L1, et de section approximativement égale à la surface du DMD (fig.4.1). Le faisceau se projette sur la surface du DMD perpendiculairement. Dans le cas où le DMD est éteint, L'angle de réflexion est ( $0^\circ$ ) et le faisceau est réfléchi sur la même direction d'incidence comme l'indique la photo de la figure (4.2).

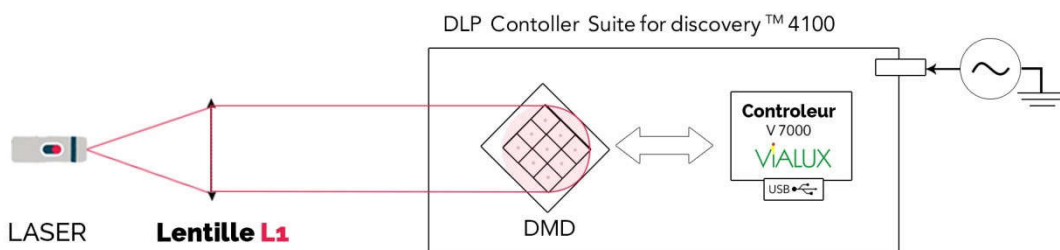


figure 4. 1 : distance laser lentille L1 et L1 DMD

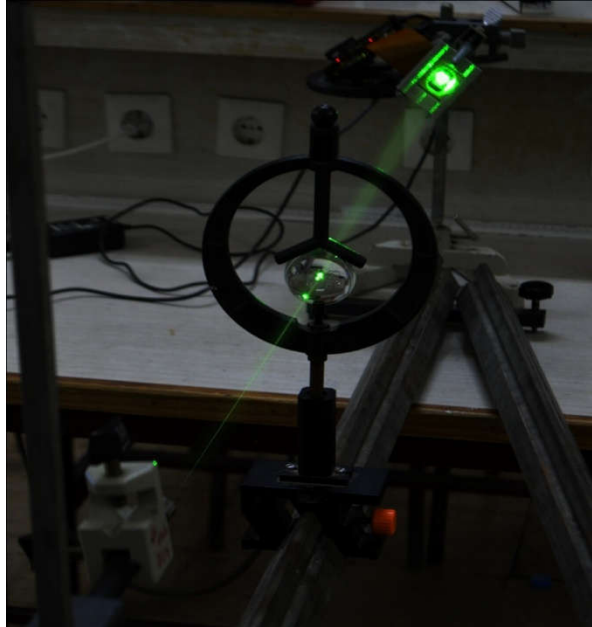
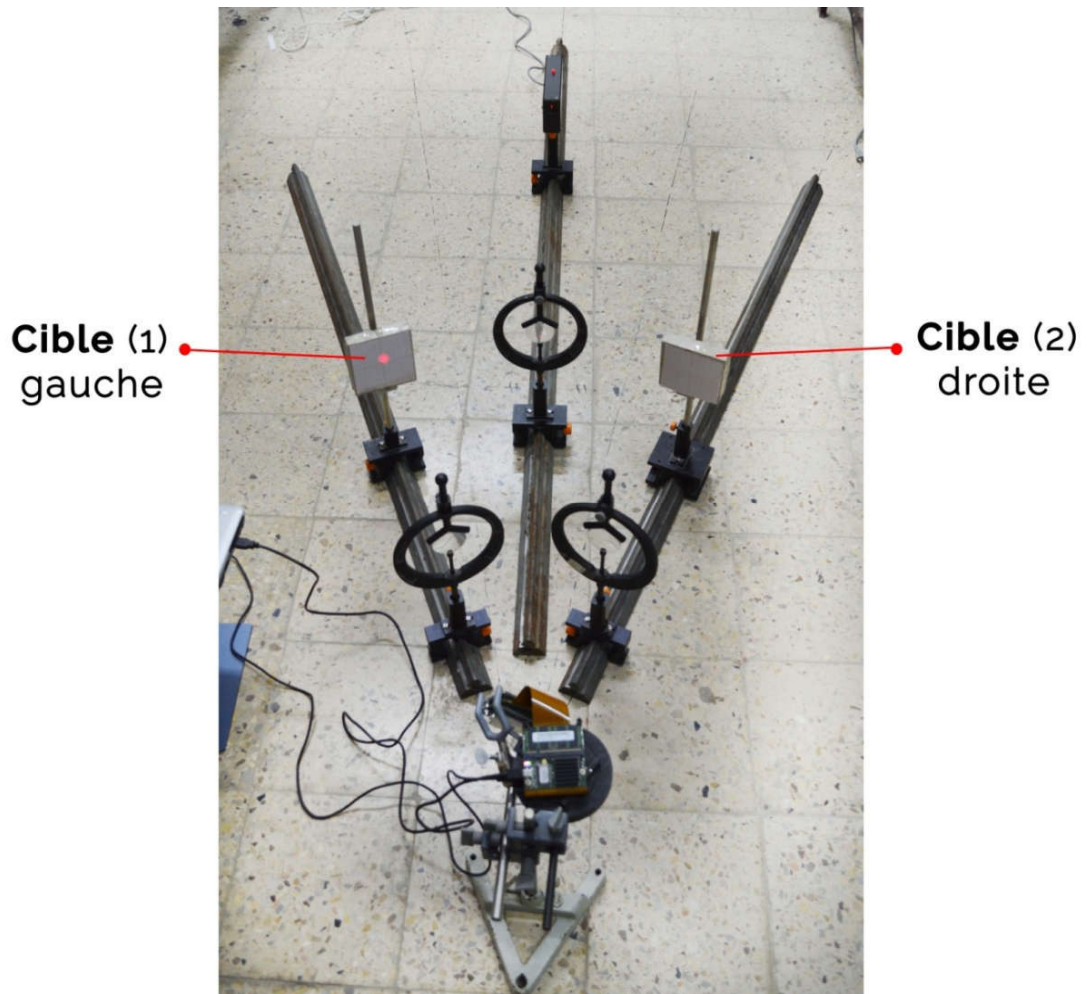


figure 4. 2 Photo du faisceau laser DMD éteint.

#### 4 .2.2 DMD allumé : aucune image transmise au DMD

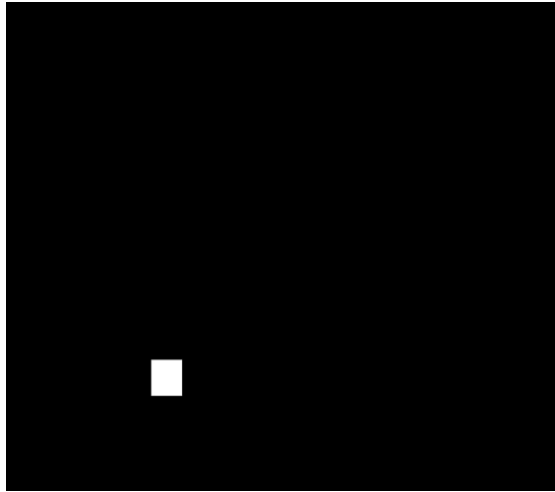
Après l'allumage et l'allocation du DMD (sans aucune image envoyée au DMD) par le bouton de commande tous les micros miroirs du DMD pivotent dans la même direction, le faisceau est complètement réfléchi sur l'écran de la cible (1) gauche. Etant donné que les deux 2 cibles sont symétriques par rapport à l'axe passant par la source laser et le centre du DMD. On constate que la cible droite ne reçoit pas le faisceau. Nous considérons la cible (2) droite est notre cible de travail. Ce qui nous permet de commander le DMD et de réfléchir le faisceau, pixel par pixel. Ce qui signifie que toute image envoyée au DMD sera projetée sur cette cible (la cible 1 recevra toujours le négatif de l'image), comme le montre la figure (4.3) .



**figure 4. 3** photo du mécanisme montrant les 2 cibles (gauche- droite L'angle entre les rails est  $24^\circ$ . aucune image envoyée, le faisceau est réfléchi complètement sur la cible 1.

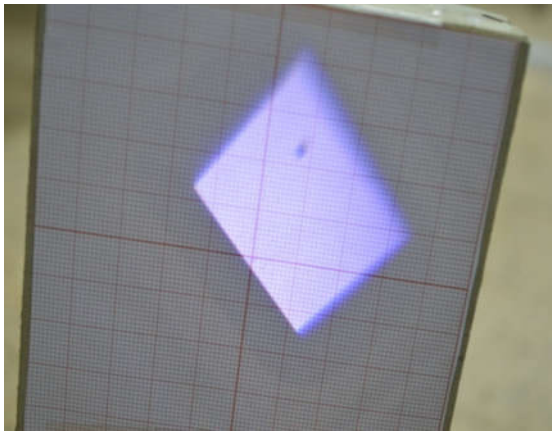
### 4.2.3 Choix de la figure : mise en évidence de la modulation du rayon laser

Un ensemble d'images sélectionnées est représenté ci-dessous. L'image vue sur l'écran du PC est envoyée vers le DMD, cette image représente le choix d'un carré blanc sur une surface noire (fig 4.4). On observe la projection d'un rayon de forme carrée sur la cible 2 (et son négatif sur la cible 1)

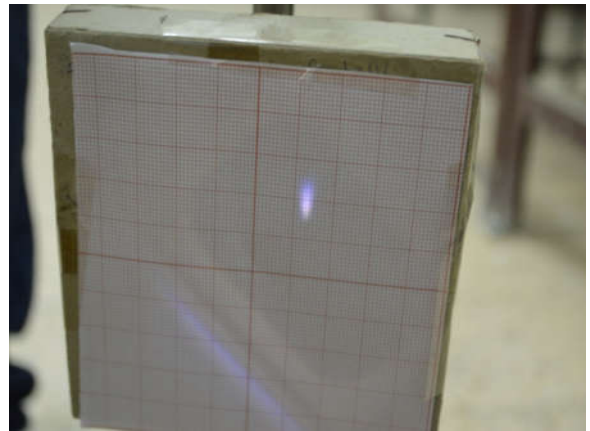


**figure 4. 4** L'image envoyée représente un carré blanc.

L'image est visualisée sur les deux cibles respectivement (fig 4.5-4.6).



**figure 4. 5** cible 1 de la première image qui envoyée



**figure 4. 6** cible 2 de la première image qui envoyée.

Sur la cible 1 (gauche) tous les rayons réfléchis de la source de lumière blanche sont projetés sauf les rayons qui couvrent le carré blanc qui est dévié sur la cible 2 (droite).

Ce qui explique sur la cible 1, la surface du DMD est totalement projetée sauf le carré par le pivotement des micro-miroirs du DMD dans la direction de la cible 1. Un nombre

commandé de micro- miroirs dévie dans la direction de la cible 2 (droite) pour la projection d'un carré blanc.

On constate sur la cible 2 que la projection de toute la surface du DMD est inclinée de  $45^\circ$  à cause de l'inclinaison des micro miroirs du DMD. Les trois axes, l'axe passant par la source de lumière, et deux axes passant dans les deux cibles se rencontrent au centre du DMD, et sont dans le même plan.

La dimension de l'image est identique à celle du DMD. Le petit carré blanc a une dimension  $55\text{px} \times 55\text{px}$  ce qui donne un nombre de 3225 micro-miroirs qui ont basculés en même temps. Sachant qu'un pixel est un micro-miroir de dimension de  $13,6\ \mu\text{m}$  ceci permet de déterminer la section du faisceau de lumière réfléchi sur notre cible.

#### 4.2.4 Changement de position de la figure (carré blanc)

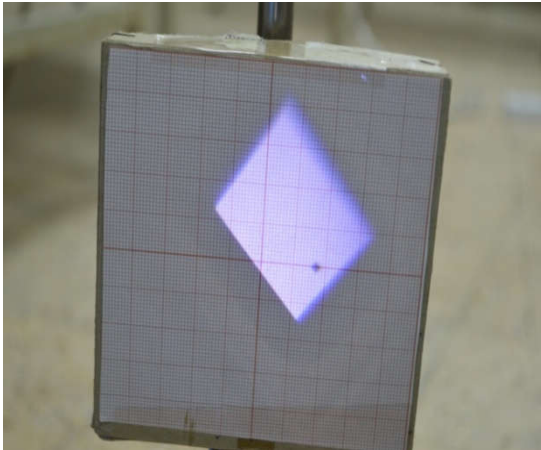
On a changé la position du carré blanc et puis on a répété la même opération.

On constate que l'image de carré blanc commandé a changé de place comme indiqué sur la figure (4.7).

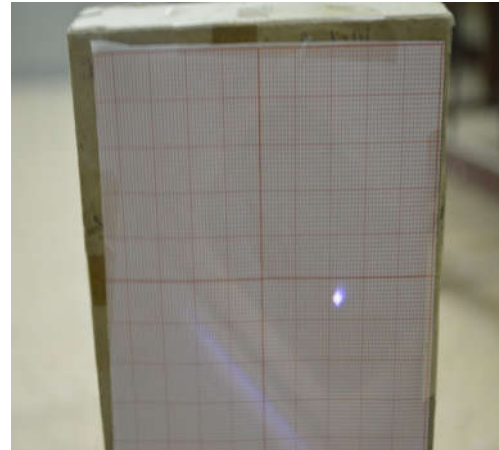


figure 4. 7 Changement de la position du carré blanc.

On constate que l'image du carré blanc commandé a changé de place comme indiqué sur les figures (4.8 - 4.8).



**figure 4. 8** photo de la cible 1 de la deuxième image qui envoyée.



**figure 4. 9** photo de la cible 2 de la deuxième image qui envoyée.

On déduit qu'on a la possibilité de cibler n'importe quel point de la surface de notre cible (cible 2).

A partir d'une position fixe on envoie une deuxième image noire avec un carré blanc dans une position différente de celle qui précède pour voir le temps de réponse du système. Le système est fiable et rapide sachant que le temps de commutation des micro-miroirs d'un état à un autre est environ 15  $\mu$ s.

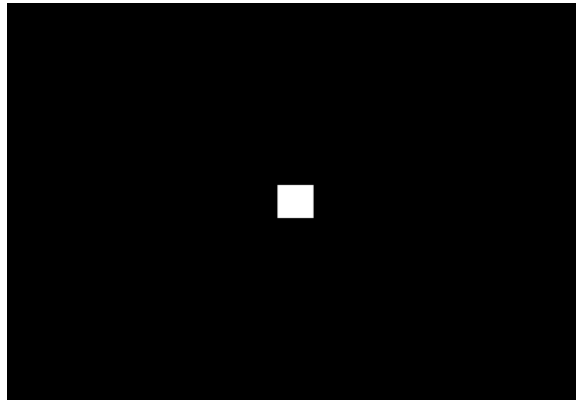
#### 4.2.5 Changement de dimension de la figure

Dans cette étude ce qui nous intéresse c'est le changement de la dimension du carré. Plus exactement ce changement est la réduction des dimensions.

##### 1er cas

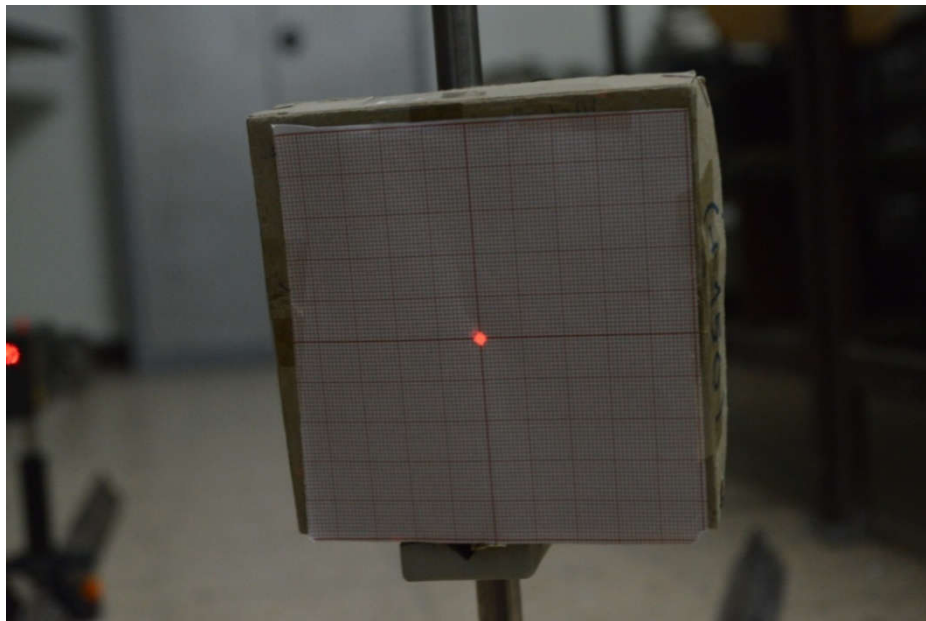
Le choix de la première figure(4.10) est un carré de (64X64 pixel carré).





**figure 4. 10** l'image représente un carré blanc centré de 64 pixel.

L'obtention de cette figure sur la cible 2 est visible comme le montre la figure(4.11).



**figure 4. 11** photo de laCible 2 du premier cas.

### **2eme cas**

Le choix de la deuxième figure est un carré de (16X16 pixel carré) L'obtention de cette figure sur la cible 2 est visible comme le montre la figure (4.12).

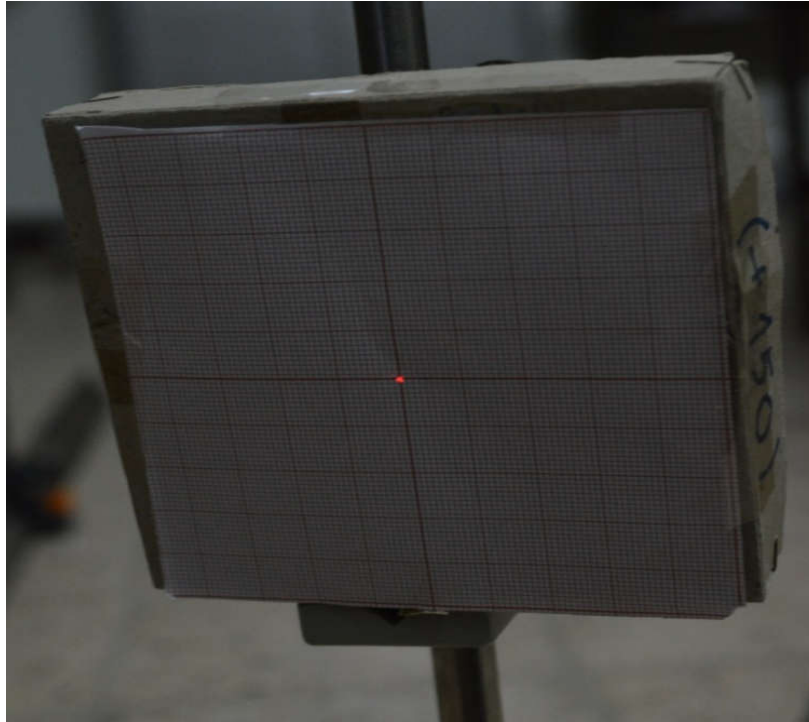


figure 4. 12 Photo de la Cible 2 du deuxième cas.

### 3eme cas

Le choix de la troisième figure est un carré de la dimension (2x2 pixel carré) plus petite que la précédente figure(4.13).

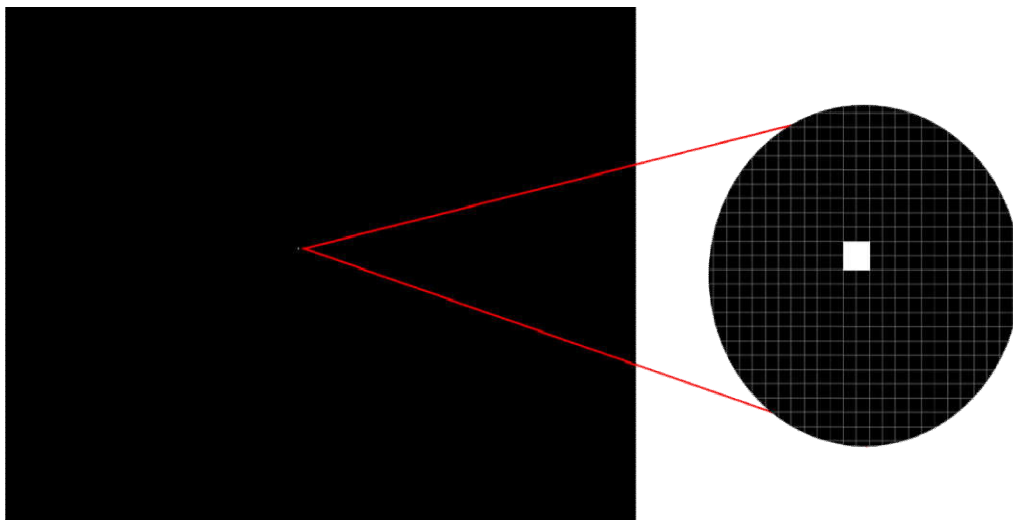
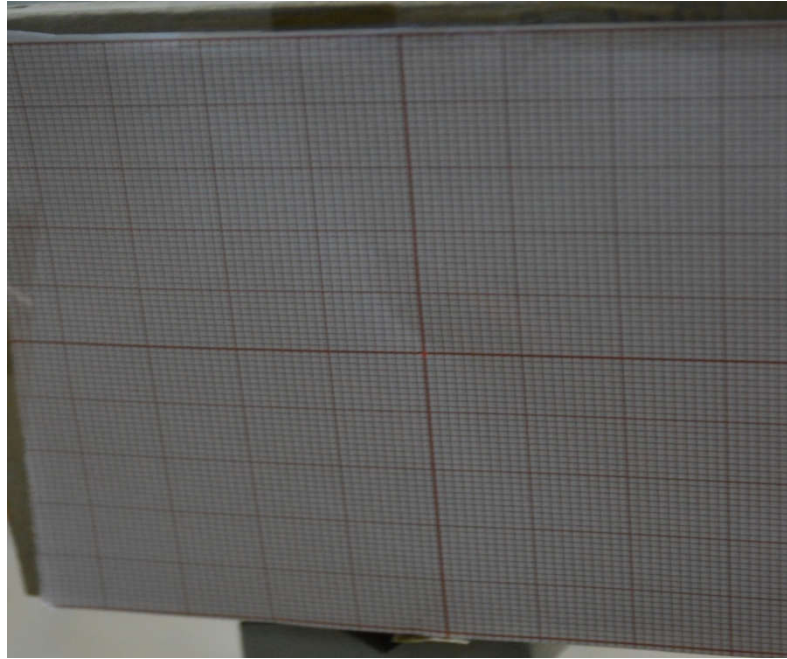


figure 4. 13 Un carré blanc de 2x2 pixel.

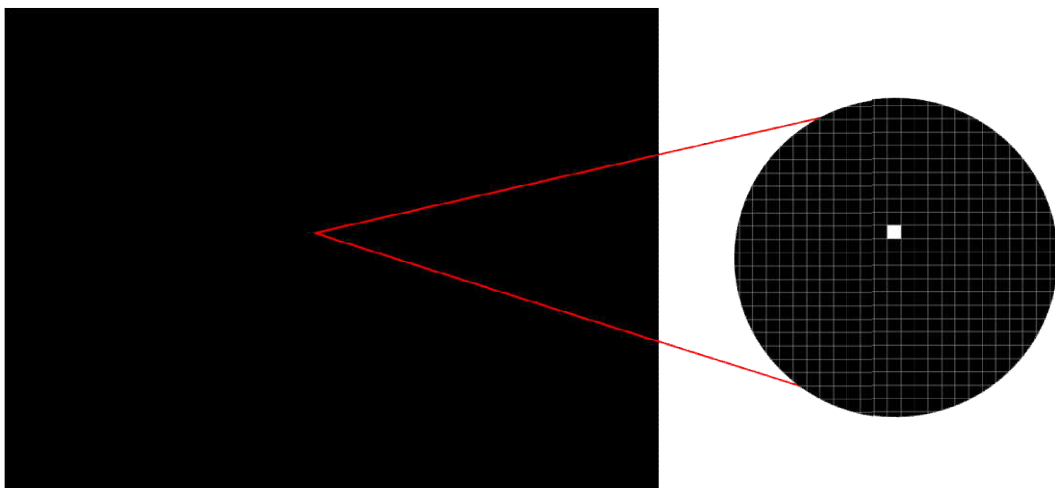
L'image montrée sur la cible 2 figure(4. 14), est moins visible que la précédente.



**figure 4. 14** Photo de la Cible 2 du troisième cas.

#### 4 eme cas

Le choix des dimension de la figure(4.15) a été réduite au minimum a un pixel. Notre but de faire commuter un seul micro-miroirs (1 pixel ) qui est invisible a l'oeil nu, est atteint. Ce qui permet la réduction de la section du faisceau réfléchi à une section égale à la surface d'un seul micro miroir.



**figure 4. 15** Un carré blanc de 1 pixel

L'image obtenue sur la cible 2 est montrée sur la figure(4.16) est moins visible que la précédente.

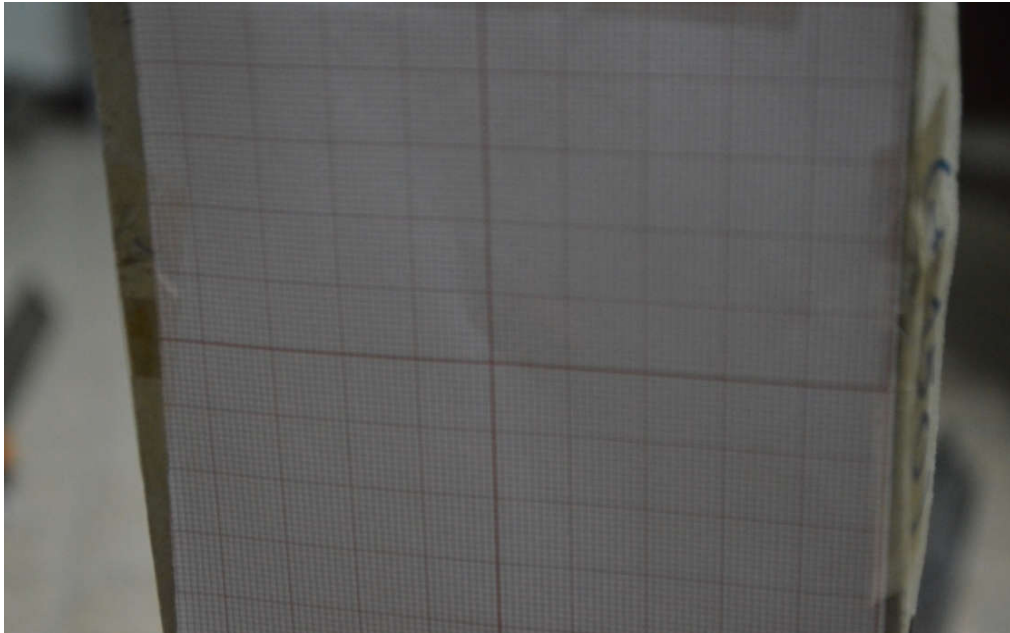


figure 4. 16 Photo de la Cible 2 du quatrième cas.

l'image a envoyé représente trois (3) carrés blanc d'un 64 pixels d'arrêt. On considère que le carré est le centre de la figure et au centre de repère  $x, y$  nommé par A, à droite le carré B d'abscisse  $x$  et d'ordonnée nulle  $y=0$ . Le carré C en haut a pour coordonnées  $x$ , avec l'ordonnée  $y$  égale à l'abscisse. Les trois carrés A,B et C sont sur le sommet d'un triangle isocèle rectangle.

On constate que l'image obtenue sur notre cible a été tournée d'un angle  $+45^\circ$  puis renversée par rapport à l'axe  $x$ . La rotation de l'angle  $45^\circ$  est due au DMD, le renversement de l'image est dû à la lentille L2 (fig 4.17).

AC=7mm.

AB=4.95mm.

BC=4.95mm.

Échelle =>  $E = 20.2$

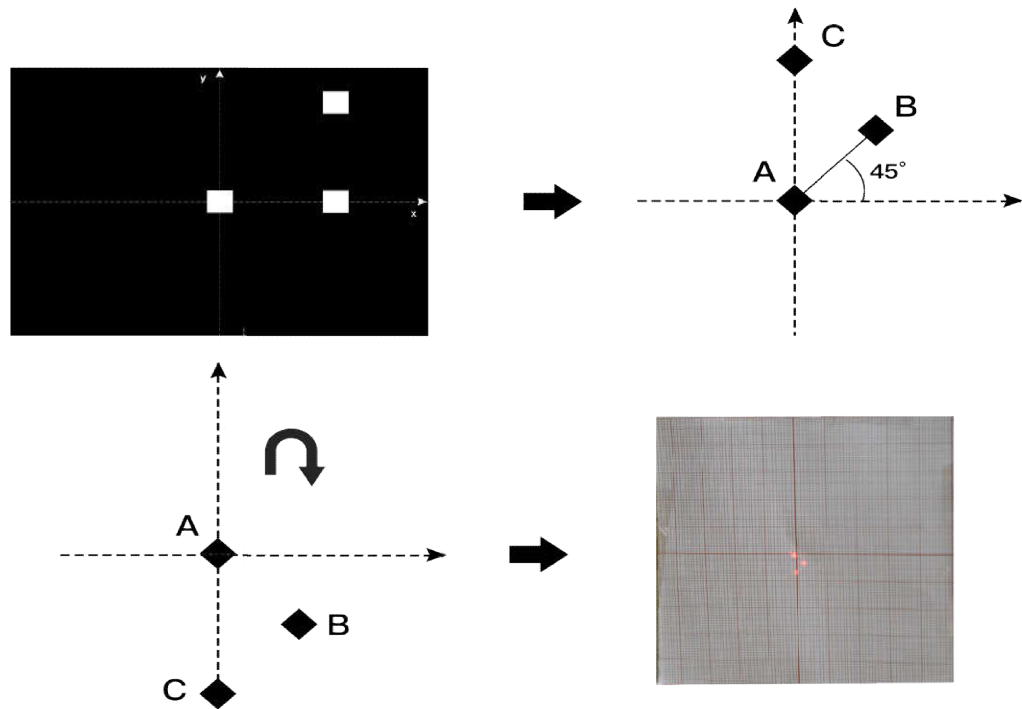


figure 4. 17 Les étapes de la transformation de l'image envoyée à la cible

#### 4.2.6 Déplacement de la cible

On considère un petit déplacement donné qui simule le mouvement de la rétine qui engendre le mouvement des taches sur la rétine (fig 4.18). En réalité le déplacement est aléatoire ; on simule ce déplacement par une translation simple qui est mentionnée dans notre travail

La figure (4.19) représente les 4 étapes du traitement de l'image pour obtenir l'image correspondant à celle envoyée.

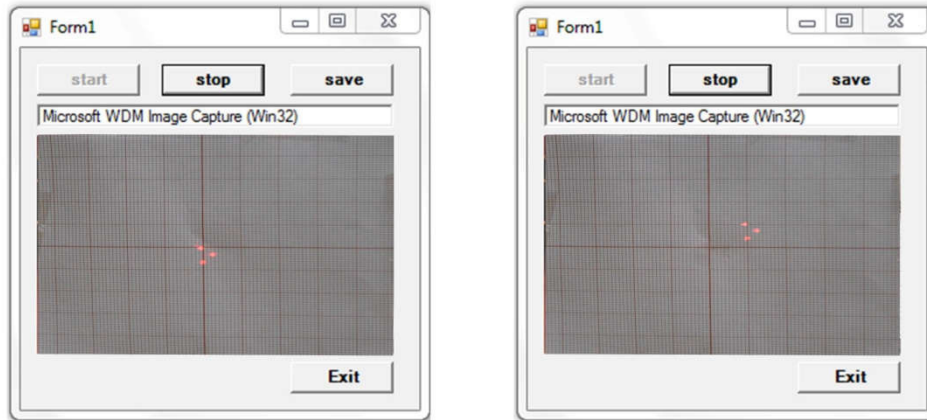


figure 4. 18 capture de webcam le déplacement de la cible.

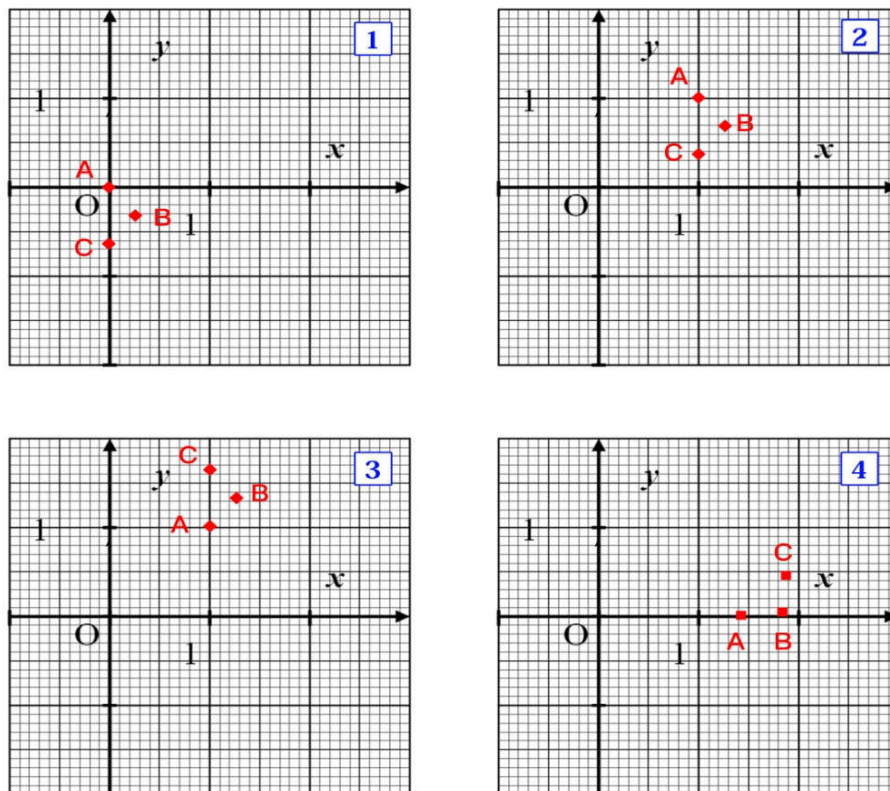


figure 4. 19 Les étapes du traitement de l'image pour obtenir l'image envoyée.

La figure 4.19.1 représente l'image obtenue sur notre cible .

La figure 4.19.2 représente l'image après déplacement de tous les points dans le repère qui est considérée comme image obtenue sur notre cible.

-  $\Delta x = 1\text{cm}$

-  $\Delta y = 1\text{cm}$

La figure 4.19.3 représente l'image est le renversée de l'image précédent .

La figure 4.19.4 représente l'image pivoté de  $+45^\circ$  qui est la nouvel image a envoyée .

**Calcul du déplacement.**

$$d = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} \cdot E$$

$$\text{Déplacement} = \sqrt{2} \cdot 20.2$$

$$= 28.56 \text{ cm.}$$

#### 4.2.7 Implémentation du programme sous C++ Visual Studio

L'implémentation du notre programme a commencé par l'exécution de l'interface graphique sous C++ visuel studio qui est constitué de trois boutons différents en ordre "DMD" , "WEBCAM" et "EXIT" présenté dans le chapitre précédent.

##### 4.2.7.1 Implementation de la fenêtre " DMD "

- Le Bouton "DMD" fait l'appel a une autre interface nommée "ALP Test" qui est constituée de 5 boutons en ordre "Alloc ", "Pattern 1" , "Pattern 2" , " free" et "Exit".
- Quand on click sur le bouton "Alloc" le pc détecte les drivers du DMD et présente une fenêtre signalétique comme le montre la figure(4.20) ci dessous.

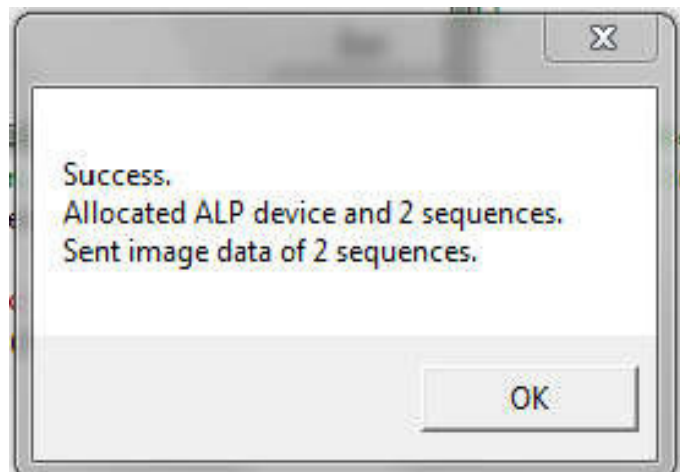


figure 4. 20 Fenêtre signalétique d'allocation du DMD.

- Quand on clic sur le bouton “**Pattern 1**” un programme est exécuté qui génère un motif écrit ci dessous.

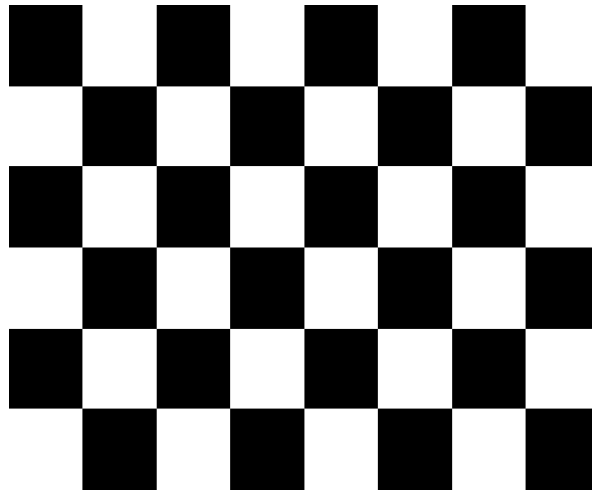
- 

```
' Send image data of sequence 2 (checkered pattern, 128x128 squares)
For y = 0 To m_nSizeY - 1 Step 1
For x = 0 To m_nSizeX - 1 Step 1
If ((x Xor y) And 128) = 0 Then
    Pattern(y * m_nSizeX + x) = 128
Else
Pattern(y * m_nSizeX + x) = 0
    EndIf
Next
Next
```

Le motif généré est représenté sur la figure (4.21) ci dessous.

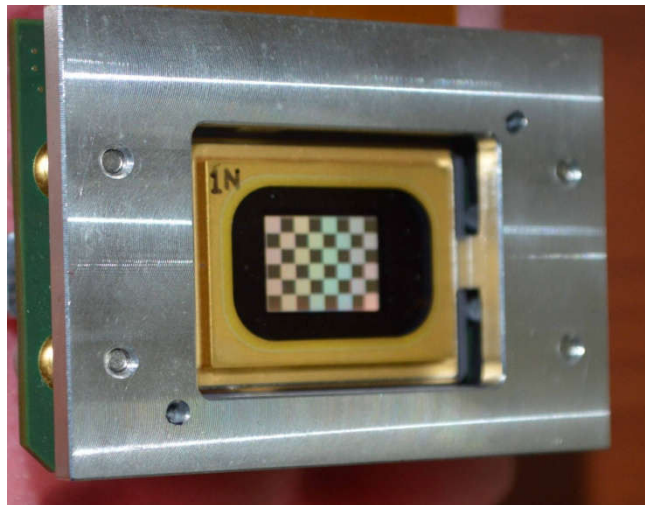
Le motif est une image qui couvrira tout la surface de la matrice du DMD composée de petits carrés de dimension 128 pixels d'arrêts.





**figure 4. 21** Représentation de l'Image générée par le programme.

Une fois le programme exécuté le motif est présenté par la matrice du DMD comme le montre la figure 4.22.



**figure 4. 22** Photo sur le DMD R l'Image générée par le programme.

L'image générée par le programme est présentée sur notre cible (cible 2) est la réflexion du faisceau de lumière à section égale à celle du DMD provenant de la source. L'image est inclinée de 45° puis renversée. La figure (4. 23-4.24) représenté ci dessous. La commande du DMD est comme celle-ci :

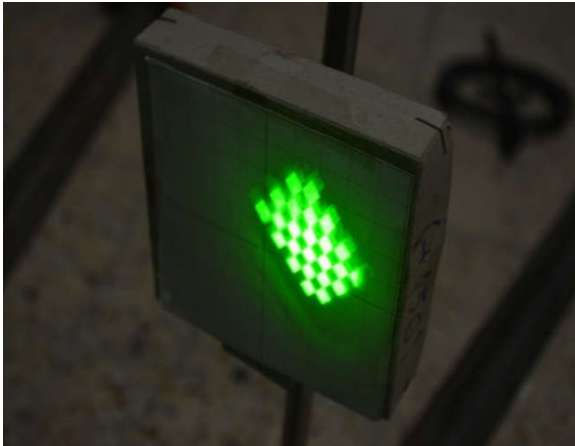


figure 4. 23 Cible 1.

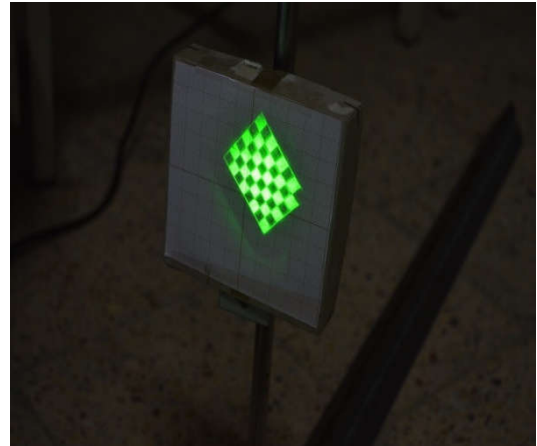


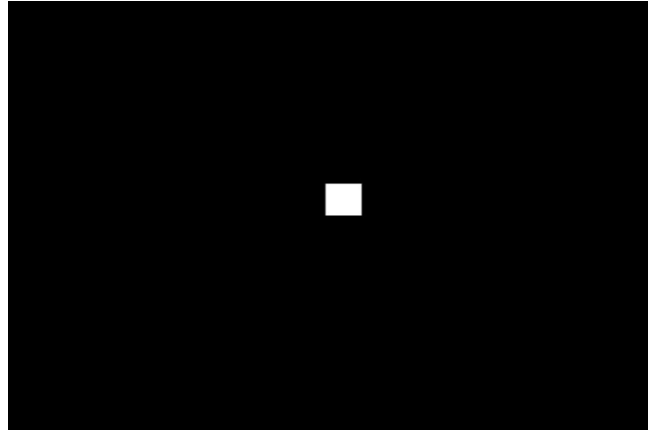
figure 4. 24 Cible 2 (cible considérée).

- Quand on clic sur le bouton **“Pattern 1”** un autre programme est exécuté qui génère un motif écrit ci dessous.

```
' Send point of sequence 1 (checkered pattern, 32*32 squares)

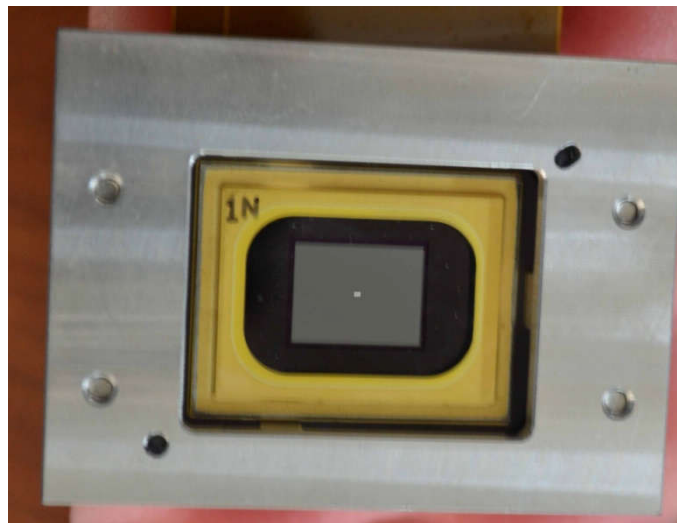
Dim Pattern(m_nSizeX * m_nSizeY) AsByte, x AsInt32, y AsInt32
For y = 0 To m_nSizeY - 1 Step 1
For x = 0 To m_nSizeX - 1 Step 1
If ((x >= 510 - 32) And (x <= 510 + 32)) And ((y >= 382 - 32) And (y <= 382 + 32)) Then
    Pattern(y * m_nSizeX + x) = 128
Else
    Pattern(y * m_nSizeX + x) = 0
EndIf
Next
```

Ce programme que nous avons développé génère un petits carré de 32 pixels d'arrêt qu'indique la figure(4.25) ci dessous.



**figure 4. 25** L'image d'un carré blanc centré de 32 pixels .

Une fois le programme exécuté le motif est présenté par la matrice du DMD comme le montre la figure 4.26.



**figure 4. 26** Photo sur le DMD d'un carré blanc centré de 32 pixels.

L'importance de ce programme est de générer des motifs de différentes dimensions en agissant sur les variables et aussi la position

- Quand on click sur le bouton "**Free**" le programme met en pause le DMD et indiqué par une fenêtre signalétique comme le montre la figure(4.27) ci dessous.

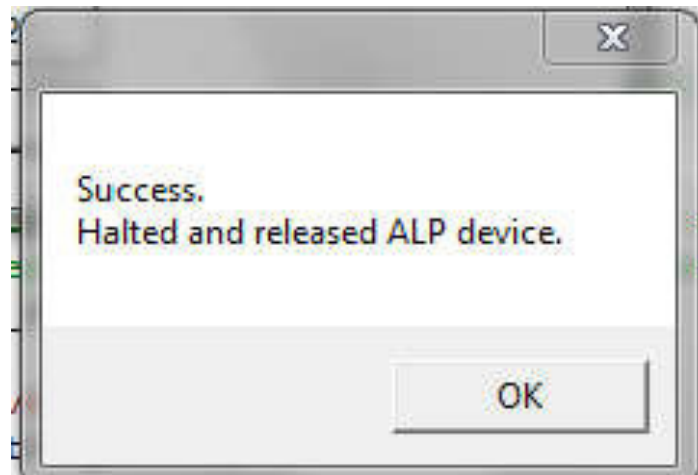


figure 4. 27 Fenêtre signalétique de pause le DMD.

En fin le clic sur le bouton "**Exit**" ferme la fenêtre "**ALP Test**".

#### 4.2.7.2 Implementation de la fenêtre " WEBCAM "

- Le Bouton "**WEBCAM**" fait l'appel a une autre interface nommée "**Form1**" qui est constituée de 4 boutons en ordre " **Start** ", "**Stop** ", "**Save** ", et "**Exit**".
- Quand on click sur le bouton "**Start**", le pc détecte la webcam ou bien une camera externe reliée par la connexion USB ansi démarre la capture de l'image de la cible qui sera visualisée sur la fenêtre "**Form1**" comme l'indique sur la figure(4.28).

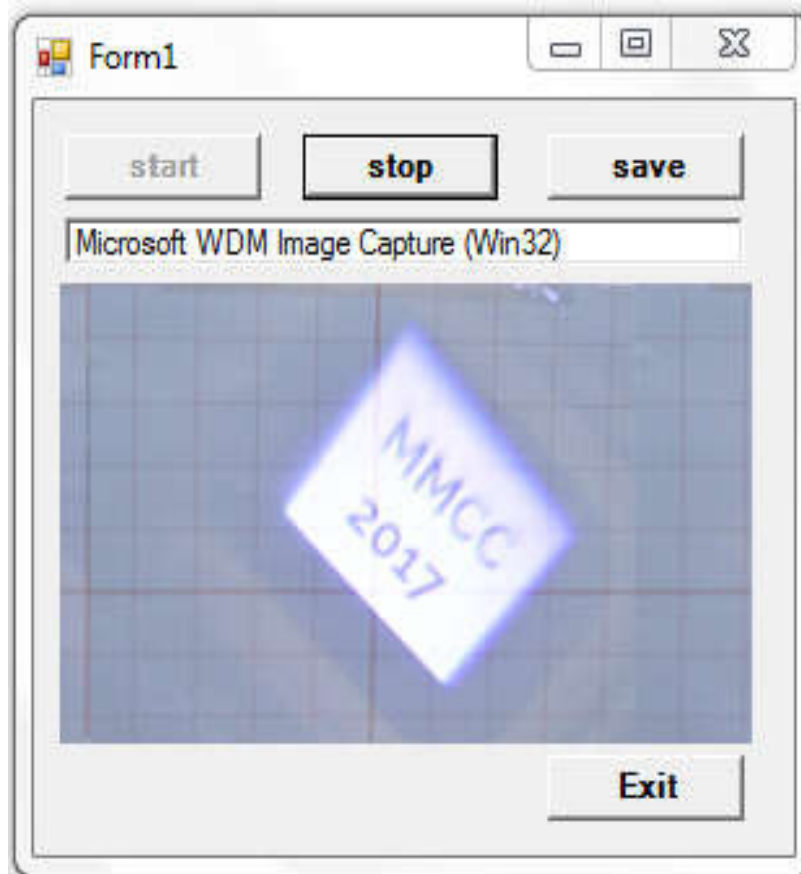


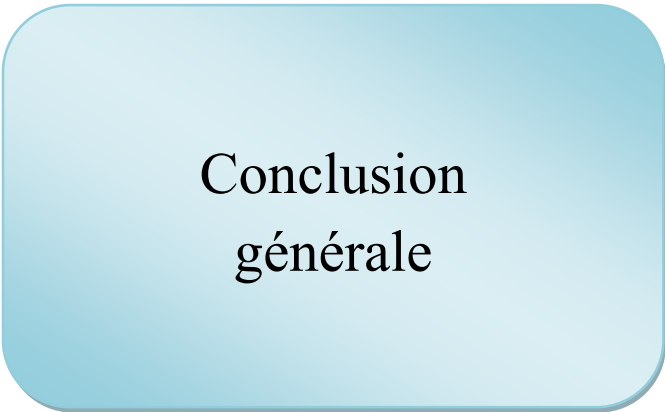
figure 4. 28 Fenêtre "form1" représentant l'image de la cible.

- Quand on clic sur le bouton "**Save**", le programme enregistre l'image dans un emplacement choisie dans la mémoire du PC .
- Quand on clic sur le bouton "**Stop**", le programme arrête la capture des images et enfin la fenêtre se ferme en appuyant le bouton "**Exit**".

### 4.3 Conclusion et discussion

Dans ce chapitre on a représenté différents étapes dont chacune nous avons réalisé des expériences pour le test du dispositif par l'implémentation des programmes de différentes tâches qui permettent de générer différents motifs pour le cas où la cible est fixe.

Dans le cas de la cible au mouvement, les images prises par une WEBCAM sont traitées pour détecter tout mouvement de la cible, et déterminer sa nouvelle position par la poursuite de la cible au mouvement pour le positionnement du faisceau laser. La nouvelle image générée par la WEBCAM est renvoyée par le DMD pour cibler la nouvelle position. Le temps d'exécution est acceptable dans le cas où la cible est considérée comme une rétine, vu la fiabilité du système dont on négligera le temps de réponse des miroirs.



Conclusion  
générale

Lors de notre projet d'études et de recherche dans le domaine de microsystemes, nous avons conçu un mécanisme opto-électro-mécanique ayant pour l'objectif d'orienter un faisceau laser vers une cible donnée dans notre cas la rétine, et de dimensionner pour le positionner en des points précis de la cible. La déviation de faisceau est réalisée grâce à des micro miroirs qui composent la matrice du DMD. Cette recherche est encadrée par l'équipe Bio rétine du laboratoire de recherche «LATSIS» du département d'électronique de l'université de BLIDA.

Dans ce contexte nous avons, dans un premier temps, effectué une étude théorique sur la structure des micro miroirs leur principe de fonctionnement et leurs commandes, ainsi que le fonctionnement du système programmable qui se compose du DMD, de son interface et du logiciel.

Nous avons fait une étude optique et conçu un système optique autour du DMD. Nous avons réalisé un dispositif composé d'une source de lumière, de lentilles et de cibles fixes (une surface plane avec un repère gradué que l'on a assimilé à la rétine). Le faisceau provenant de la source est convergé grâce à des lentilles, puis réfléchi par les micro miroirs de la matrice du DMD, tantôt sur la cible fixe, et tantôt sur la cible et sa symétrique pour démontrer les propriétés du DMD. Ceci nous a permis de démontrer, entre autre, que le faisceau laser initial pouvait être modulé, par les couleurs noir et blanc de l'image, puisque le noir est réfléchi sur une cible, et le blanc sur son symétrique.

Le système DMD est commandé par son logiciel de VIALUX, nous avons utilisé une application DEMO pour la réalisation d'une expérience. Vu le nombre d'image restreint qu'il est possible de transmettre au DMD par le logiciel principal, nous avons été menés à implémenter notre propre programme en Visual Studio C++, qui fait appel aux bibliothèques de l'application de VIALUX, pour créer notre propre interface graphique, et générer un nombre d'images variable à envoyer au DMD.

Ce programme possède une interface graphique générant différents motifs, et des fonctionnalités mieux adaptées à notre besoin pour la modélisation d'un faisceau de différentes sections (possibilité d'atteindre la limite de la section d'un pixel), et sa réflexion par la commande des micro miroirs sur une cible fixe, ou sur une cible en mouvement. Les images prises par une WEBCAM sont traitées pour détecter tout mouvement de la cible, et déterminer sa nouvelle position. Nous avons montré que la poursuite de la cible en mouvement, pour le positionnement des rayons laser, pouvait se faire simplement par la génération et l'envoi vers le DMD, d'images translatées de



l'image initiale. Ainsi, les aléas dus à l'utilisation des micro miroirs sont évités. Dans le cas où la cible est la rétine, notre système présente trois avantages primordiaux: la possibilité de poursuite de la cible en temps réel, la possibilité d'atteindre tous les points d'impact à traiter par photo-coagulation, simultanément, et l'affinement des rayons laser pour atteindre les points d'impact avec une grande précision. Des avantages, tels que l'augmentation du confort, et la diminution du risque de dommages de tissus rétiniens sains, en résultent pour le patient.

Dans le cas de la cible en mouvement une proposition pour l'amélioration de notre système consiste à interfacer notre programme avec un programme de contrôle adaptatif, en utilisant une camera CCD, ainsi que le contrôle de l'intensité du rayon laser .

L'ensemble du système peut également être miniaturisé et conçu en tant que microsystème.

# Bibliographie

- [1] Le home cinema :Lexique Home-Cinema: DMD/DLP  
Site Web <http://www.le-homecinema.com/lexique/lexique9.html>
- [2] Futura- sciences: santé :rétine  
Site Web <http://www.futura-sciences.com/sante/definitions/medecine-retine-4322/>
- [3] [http://elearning.univ-jijel.dz/elearning/pluginfile.php/1630/mod\\_resource/content/4/Chapitre%20V.pdf](http://elearning.univ-jijel.dz/elearning/pluginfile.php/1630/mod_resource/content/4/Chapitre%20V.pdf)
- [4] D. Dudley, W.M. Duncan, and J. Slaughter, "Emerging digital micromirror device (DMD) applications", *Proceeding of SPIE*, vol. 4985, pp. 14-25, 2003.
- [5] M. Hsieh, "Modulation transfer function for a digital micromirror device", *Opt. Eng.*, vol. 45, no. 3, pp. 034001-5, 2006.
- [6] R.S. Nesbitt, et al., "Holographic recording using a digital micromirror device," in *Conference on Practical Holography XIII*, *Proceeding of SPIE*, vol.3637, pp.12-20, 1999.
- [7] L. J. Hornbeck, "Digital light processing: a new MEMS-based display technology," in *Technical Digest of the Institute of Electrical Engineers of Japan 14th Sensor Symposium*, pp. 297–304, 1996.
- [8] J.B. Sampsel, "An overview of the performance envelope of Digital Micromirror Device (DMD) based projection display systems", in *Digest of Technical Papers, Society for Information Display International Symposium*, pp. 669–672, 1994.

- [9] C. Ji, "Digital Micromirror Device", unpublished.
- [10] M. R. Douglass, "Why is the Texas Instruments Digital Micromirror Device (DMD) so reliable?", TI white paper
- [11] T. Kreis, P. Aswendt, and R. Höfling, "Hologram reconstruction using a digital micromirror device," *Opt. Eng.* vol.40, pp.926-933, 2001.
- [12] K. J. Kearney and Z. Ninkov, "Characterization of a digital micromirror device for use as an optical mask in imaging and spectroscopy", *Proceeding of SPIE*, vol. 3292, pp. 81-92, 1998.
- [13] C. Ji, "Digital Micromirror Device", unpublished
- [14] A.L.P. Dlugan and C.E. MacAulay, "Update on the use of digital micromirror devices in quantitative microscopy," *Proceeding of SPIE*, vol.3604, pp.253-262, 1999.
- [15] A. Marquez, C. C. Lemmi, I. S. Moreno, J. A. Davis, J. Campos and M. J. Yzuel, "quantitative prediction of the modulation behavior of twisted nematic liquid crystal display," *Opt. Eng.* vol.40, no.11, pp. 2558-2564, 2001.
- [16] Eric Braddom, Jeff Farris, Rabah Mezenner et al : 'digital projection of uv light for direct imaging applications, dlp® technology is enabling the next generation of maskless lithography', p1-7,18 aout 2008  
Siteweb:[http://focus.ti.com/pdfs/dlpdmd/Digital\\_Projection\\_of\\_UV\\_Light\\_is\\_Enabling\\_New\\_Markets1.pdf](http://focus.ti.com/pdfs/dlpdmd/Digital_Projection_of_UV_Light_is_Enabling_New_Markets1.pdf)

- [17] Yu-Xuan Ren, Ming Li, Kun Huang et al : 'Experimental generation of Laguerre–Gaussian beam using digital micromirror device', Optical Society of America, Vol. 49, pp. 1838-1844, 25 mars 2010.  
Site web : <https://www.osapublishing.org/ao/abstract.cfm?uri=ao-49-10-183>
- [18] Texas Instruments : 'DLP® System Optics Application Note', p1-26, juillet 2010  
Site web : <http://www.ti.com/lit/an/dlpa022/dlpa022>.
- [19] Roy E' Williams, 'Irrer M' Freeman, James F' Freeman et al : 'control system for high resolution high speed digital micromirror device for laser refractive eye surgery', The U.S. Government, 21/jan/2003  
Site web : <http://www.google.tl/patents/US6508812>
- [20] Douaer Belkacem et Messadi Mohammed amine : 'Contrôle par PC des miroirs d'un « DMD » pour le positionnement x, y, sur la rétine, d'un rayon laser issu d'une source lumineuse fixe', mémoire de master en électronique, université SAAD DAHLEB BLIDA, Algérie, 2016
- [21] [http://www.impactlaser.fr/img/02\\_focalisation\\_lasers.pdf](http://www.impactlaser.fr/img/02_focalisation_lasers.pdf)
- [22] ViALUX Messtechnik + Bildverarbeitung GmbH, DLP® Discovery™ Product Overview, [www.vialux.de](http://www.vialux.de), 06.06.2012 Biomed Tech 2012; 57 (Suppl. 1) © 2012 by Walter de Gruyter · Berlin · Boston. DOI 10.1515/bmt-2012-4046347
- [23] Les SVT pas à pas : PARTIE 3: De l'oeil au cerveau: quelques aspects de la vision, TP 1 : Le cristallin de l'oeil  
Site web : <http://svtpasapas.blogspot.com/2015/03/de-loeil-au-cerveau-quelques-aspect-de.html>
- [24] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Microsoft\\_Visual\\_Studio](https://fr.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Visual_Studio)

**Annexe A**  
Digital Micro-mirror Device

## General

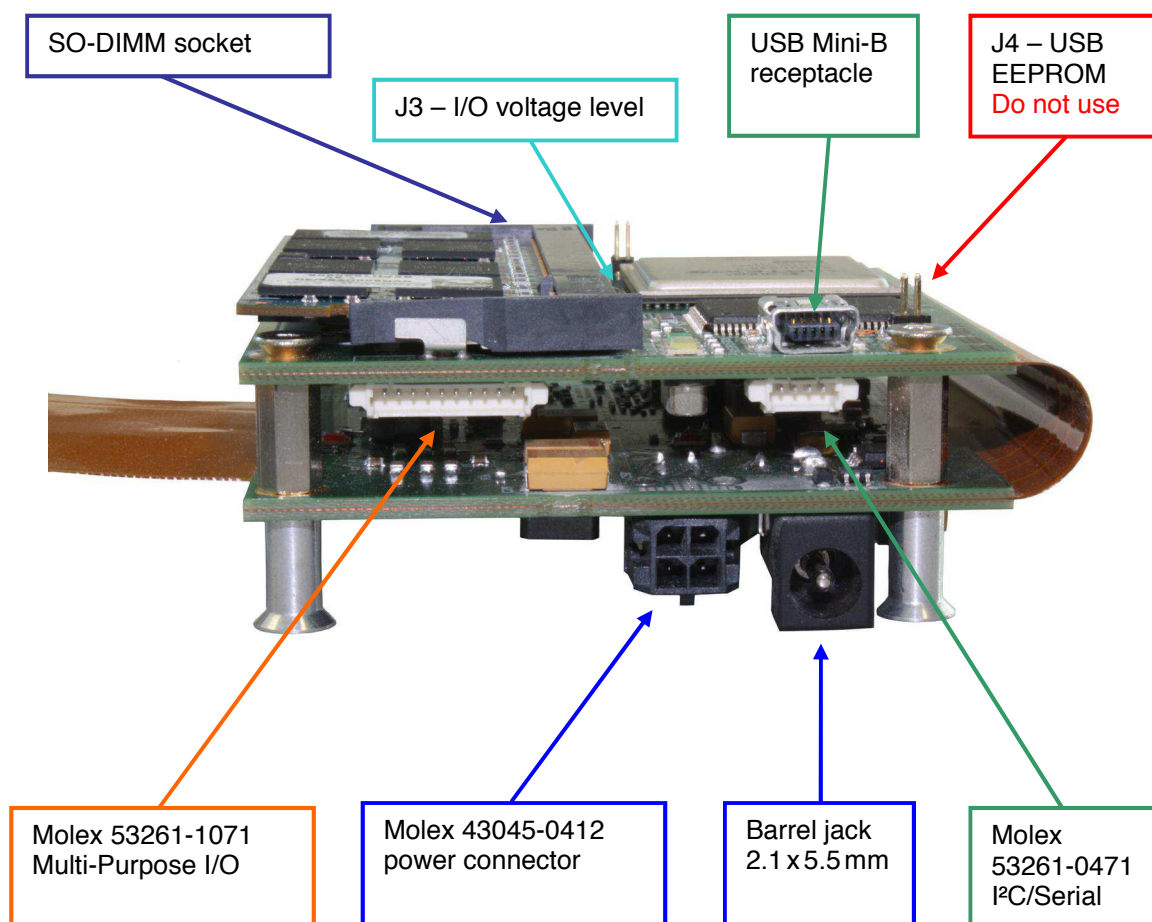
This document describes the functionality of the DLP® V-Module V4100 Board.

The DLP® V4100 Controller Board provides control logic and power supply for driving a 0.7 XGA 2xLVDS DMD by using the Texas Instruments DMD Discovery™ 4100 chipset.

Key feature of the V4100 are two flexible sections. The 90 mm long flexible part allows high freedom in positioning the DMD part. The 20 mm long flexible part makes it possible to fold the Controller Board (see Figure 1). Please see Chapter “Flexible connection” for reliability issues.

## Connectors

Figure 1 – V4100 connectors



## SO-DIMM socket

A standard DDR2 SO-DIMM (small outline dual-inline memory module) is used for image storage. Please use the module specified and supplied by ViALUX. Always switch off the device before removal or insertion of the memory module.

## Power connectors

A 4-pin Molex DC power jack or, alternatively, a Barrel Receptacle is provided on the V4100 to connect to a power supply unit. Please do not use both power connectors simultaneously.



### Molex Micro Fit 3.0™

This is a Molex Micro Fit 3.0™ dual row header, part number 43045-0412. It mates with receptacle 43025-04xx.

Pin Number	Signal Name	Power Consumption
3 – 4	5 V	4 A
1 – 2 (lower on drawing)	GND	–



### Barrel DC Power Jack

Center pin diameter 2.1 mm, outside diameter 5.5 mm, Insertion Depth 9 mm

Pin	Signal Name	Power Consumption
Inside	5 V	4 A
Outside	GND	–

## USB Mini-B connector



This is the connector for USB connection to the PC. Use the supplied USB cable to connect the board.

Pin Number	Signal Name
1 (left on drawing)	USB VCC
2	USB D–
3	USB D+
4	not connected
5	GND

## Multi-Purpose I/O (Synchronization) connector



The synchronization connector is a Molex header, part number 53261-1071. It mates with Molex part number 51021-1000. Use crimp contacts 50058-8000 or 50079-8000.



This connector is not hot-plug capable. Only attach a plug while the device is off in order to avoid damage. Always apply a common GND when connecting devices.

Pin Number	Signal Name	Direction	Purpose
1 (left on drawing)	VCC_GPIO	IN/OUT	Power (see configuration of jumper J3)
2	SYNCH_OUT1_GATE	OUT <sup>2</sup>	Dynamic Gate Synch Output 1, refer to the ALP-4 <i>high-speed</i> API description, ALP_DEV_DYN_SYNCH_OUT1_GATE
3	SYNCH_OUT2_GATE	OUT <sup>2</sup>	ALP_DEV_DYN_SYNCH_OUT2_GATE
4	SYNCH_OUT3_GATE	OUT <sup>2</sup>	ALP_DEV_DYN_SYNCH_OUT3_GATE
5		OUT	Reserved for future use
6		IN	Reserved for future use
7	TRIGGER_IN	IN <sup>1</sup>	Trigger Input
8	SYNCH_OUT	OUT <sup>2</sup>	Frame Synchronization Output
9	PWM	OUT <sup>2</sup>	ALP_PWM_LEVEL: output a pulse-width modulated value
10	GND	–	Power ground

<sup>1</sup> Input: SN74LVC2G14

<sup>2</sup> Output: SN74LVC2T45

## I2C and Serial I/O connector



This connector is a Molex header, part number 53261-0471. It mates with Molex part number 51021-0400, use crimp contacts 50058-8000 or 50079-8000.

This connector is not hot-plug capable. Only attach a plug while the device is off in order to avoid damage. Always apply a common GND when connecting devices.

Pin Number	Signal Name	Direction	Purpose
1 (left on drawing)	GND	–	Power ground
	RxD	IN	Reserved for future use
2	VCC_USB	OUT	Power (3.1 V)
	TxD	OUT	Reserved for future use
3	SDA	IN/OUT	Serial Data
4	SCL	OUT	Serial Clock

Please contact ViALUX before using this connector.

## Jumper configuration

All jumpers used in this board layout are 1.27 mm pitch.

### J3 – I/O voltage selection

This jumper is used to select either 2.5 V or 5.0 V voltage supplies for the Multi-Purpose I/O connector.

The attached hardware can supply the voltage level, when the jumper is left open.

Position	I/O voltage	VCC_GPIO source
open	2.5 V to 5.0 V	extern
1 – 2	2.5 V	intern
3 – 4	5.0 V	intern

### J4 – USB EEPROM programming

This jumper allows to temporally disconnect the USB EEPROM or to disable its write protection feature. Please contact ViALUX before using this jumper.

## LED description

Table 1 lists the on board LEDs with a functional description.

**Table 1 – Description of LEDs**

LED	Color	Status	Description
LD1	Blue	Steady	USB high-speed port acknowledged
		Blink	Bulk data traffic (image download)
LD2	Green	Steady	FPGA configured
LD3	Yellow	Steady	Firmware running, USB active
		Blink	Generic USB traffic (projection control, etc.)
LD4	Red	Steady	USB Power Input
LD5	Red	Steady	5 V power supply is connected
LD6	Red	Steady	On-board 3.3 V power regulator output, supply for USB
LD7	Red	Steady	On-board 3.3 V power regulator output, supply for DMD CMOS logic
LD8	Red	Steady	On-board 2.5 V power regulator output
LD9	Red	Steady	On-board 1.8 V power regulator output
LD10	Red	Steady	On-board 1.0 V power regulator output
LD12	Red	Steady	On-board 12 V power regulator output
LD13	Green	Steady	DDC finished
LD14	Red	Steady	DDC done
LD15	Green	Steady	System “heartbeat” signal (VLED0)
LD16	Green	Steady	Denotes initialization complete (VLED1)

## Protection features

The V4100 board provides protection logic control for the DMD.

### Power float

In the event of power failure or if the 5 V power supply is shut down, the DMD will be issued a FLOAT command that places all mirrors in a non-deflected position. The threshold is below 4.5 V. The ALP-4 *high-speed* API implements ALP\_DEV\_DMD\_MODE for checking this state.

## Operating conditions

Operating Temperature: 25 ... 45 °C

Storage Temperature: -40 ... 80 °C

Relative Humidity: 0 ... 95 % (non-condensing)

## Flexible connection

The flexible connection of the V4100 is designed to satisfy applications where space is limited. The flexible connection is not designed for dynamic mechanical bending. The number of bending cycles that lead to a damage of the flexible connection depends on the bending radius, the smaller the bending radius the higher the fatigue of the flexible connection. See Table 2 for details.

Furthermore, it is recommended to keep the tensile forces as small as possible. ViALUX also recommends that the user pays attention to the handling and uses the wrapping delivered with the V4100 Board.

**Table 2 – Bending radius versus bending cycles that lead to a damage**

Radius	Cycles
1 mm	> 1
2 mm	> 10
40 mm	> 10000

## DMD Mechanical Assembly

Please observe the following Torque Specification for the four M3 screws of the standard ViALUX DMD mounting set:  $3.0 \pm 1.0$  IN·LB (i.e.  $0.34 \pm 0.11$  N·m)

## Mounting Instructions

Observe ESD requirements strictly!

Please be aware that there is an on-board battery that supports the key memory for FPGA encryption. Avoid short-circuits when mounting the board in order to not lose the encryption key.

The V4100 Board is designed to work in any mounting position. Good air circulation is recommended.





**Annexe B**  
Programmation

## 1 General introduction

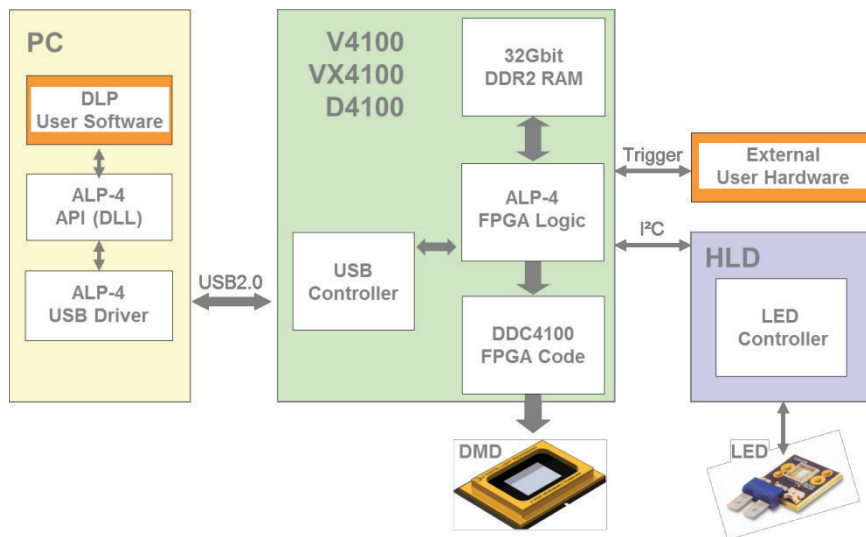
### 1.1 ALP Revision Information

This document summarizes release 19 of the ALP-4 *high-speed* application programming interface. It applies to the following file versions:

API DLL file: alpD41.dll, alpV42.dll 1.0.19.x

API header file (alp.h): 12

### 1.2 ALP operation



The ALP Controller Suite comes with an application programming interface (API) implemented as a dynamic-link library (DLL). It provides all functions required for the use of ALP hardware components. The following notes describe general software organization rules applicable for the whole library.

- Any ALP is identified by its serial number. Multiple ALP devices can be simultaneously controlled by a single PC.
- The API software provides an ALP device identifier (type `ALP_ID`) for each unit.
- The patterns to be displayed are organized in sequences of 1...8 bit pictures. Any sequence is addressed via a sequence handle (type `ALP_ID`).
- The sequences are loaded into ALP RAM using an API function (`AlpSeqPut`). This RAM is not directly accessible by the user.
- Multi-threading is supported. The library functions serialize critical operations internally.
- `AlpDevHalt` stops ALP operation instantly.
- All functions provide a return value (type `long`). The parameter list may point to other output data. It is strongly recommended to verify the return value always.
- Various programming samples are available in source code and distributed with the ALP Installation. They provide a quick insight into ALP API programming, and may serve as a template for building a custom application.

- Compatibility is maintained for all ALP-4 API versions running on different controller boards and with different DMD formats; in particular all DLP® V-Modules (V4100 and VX4100 models) as well as the DLP® Discovery™ 4100 Developer Kits can be controlled with the same software. See Release Notes for version-specific comments. The functionality and performance is the same for ALP-4.1 and ALP-4.2, the controller models refers to different types of DLP® boards.

**Please consult the Release Notes for current implementation comments.**

Section 2 of this document contains a comprehensive reference of the ALP API functions. Section 3 describes extended options for advanced users, LED driver control is embedded in the ALP-4 API and the corresponding LED API reference is given in Section 4. Finally Section 5 of this document provides the specification of the interface in case users cannot take advantage of automatic processing of the C header file alp.h.

### 1.3 ALP API files

The API of ALP-4 *high-speed* consists of a DLL file, an according import library LIB file, and the header file alp.h.

Include alp.h and link the LIB file to your C/C++ application for to use the ALP-4 *high-speed* API. The header declares functions and constant values<sup>1</sup>, and the LIB file cares for loading the DLL and imports the API functions when starting your application.

An additional DLL exports the same functions using “standard call” calling convention. It just translates calling conventions, so it depends on the “main” ALP API DLL. This library might be required for development environments that do not support the C calling convention<sup>2</sup>.

	Header file	Import library	Main DLL (C call)	StdCall DLL
<b>ALP-4.1</b>	Alp.h	alpD41.lib	alpD41.dll	alpD41S.dll
<b>ALP-4.2</b>	Alp.h	alpV42.lib	alpV42.dll	alpV42S.dll

### 1.4 Device handling

The ALP-4 *high-speed* controllers are implemented with an encrypted FPGA code. The corresponding Virtex-5 FPGA key is factory installed and supported by a long life battery.

*Important note:* Do not overwrite the Virtex-5 FPGA key or remove the battery. The FPGA logic on the DLP® Discovery Developer Kit can be overwritten by the user at any time it will be uploaded again during the next ALP-4 power cycle.

<sup>1</sup> When using other programming languages, please read alp.h in a text editor, or refer to chapter 5.

<sup>2</sup> For more details please search msdn.microsoft.com for „calling conventions“.



## 1.5 Return values

Some return values are commonly used by many of the API functions. This is an explanation of their general meaning.

### **ALP\_OK**

The function succeeded.

### **ALP\_PARM\_INVALID**

One of the parameters is invalid, or a *ControlType* is not supported.

Valid ranges of *ControlValues* may depend on other settings or the device state, so ensure to set up all parameters consistently.

### **ALP\_ADDR\_INVALID**

Functions that access user data through a pointer parameter (e.g. long *\*UserVarPtr*) return ALP\_ADDR\_INVALID when memory access fails. The most probable cause is that this pointer contains an invalid memory address.

### **ALP\_NOT\_READY**

This return value has different meanings depending on the called function.

*AlpDevAlloc*: The specified ALP is un-available because it is already allocated.

All functions can return it in multi-threading applications to denote that the ALP is currently in use by another thread.

### **ALP\_NOT\_IDLE**

To execute the function, the ALP must not display any sequence. Currently the projection loop of *an arbitrary* sequence is running. A concurrent *AlpSeqPut* may also inhibit execution of this function.

### **ALP\_SEQ\_IN\_USE**

There are operations that are mutually exclusive using *the same* sequence. For example, a running projection loop may inhibit writing image data (*AlpSeqPut*) to the same sequence and vice versa.

### **ALP\_NOT\_AVAILABLE**

All functions having an input parameter *DeviceId* can return this value. The specified *DeviceId* is invalid. Create one using *AlpDevAlloc*.

### **ALP\_ERROR\_COMM, ALP\_DEVICE\_REMOVED**

Most of the ALP API functions communicate with the ALP device over the USB. These functions provide the following additional return values when a USB error occurs:

ALP_ERROR_COMM	a communication error occurred during the operation
ALP_DEVICE_REMOVED	the device has been disconnected

USB connection to the device can be checked using *AlpDevInquire*(ALP\_USB\_CONNECTION). *AlpDevControl*(ALP\_USB\_CONNECTION) can be used to re-connect to the device after a transient USB interruption.

**ALP\_ERROR\_POWER\_DOWN**

The DMD has failed to “wake up” from ALP\_DMD\_POWER\_FLOAT mode.

## 2 Basic ALP Functions

### 2.1 AlpDevAlloc

#### Format

long AlpDevAlloc (long *DeviceNum*, long *InitFlag*, ALP\_ID \**DeviceIdPtr*)

#### Description

This function allocates an ALP hardware system (board set) and returns an ALP handle so that it can be used by subsequent API functions.

An error is reported if the requested device is not available or not ready.

When you no longer need a particular ALP system, free it using *AlpDevFree*.

When terminating the ALP system, use *AlpDevFree* before disconnecting it from the USB to avoid problems after USB re-connection.

#### Parameters

*DeviceNum* specifies the device to be used. Set this parameter to one of the following values:

ALP_DEFAULT	the next available system is allocated
ALP serial number	the system with the specified serial number is allocated

*InitFlag* specifies the type of initialization to perform on the selected system. This parameter can be set to one of the following:

ALP_DEFAULT	default initialization
-------------	------------------------

*DeviceIdPtr* specifies the address of the variable in which to write the ALP device identifier.

#### Return values

ALP_OK	no errors
ALP_ADDR_INVALID	user data access not valid
ALP_NOT_ONLINE	specified ALP not found
ALP_NOT_READY	specified ALP already allocated
ALP_ERROR_INIT	initialization error
ALP_LOADER_VERSION	(ALP-4.1 only) This DLL requires the driver file VlxUsbLd.sys of at least version 0.1.0.22. Please update it and restart the ALP device.

## 2.2 AlpDevControl

### Format

long AlpDevControl (ALP\_ID *DeviceId*, long *ControlType*, long *ControlValue*)

### Description

This function is used to change the display properties of the ALP. The default values are assigned during device allocation by *AlpDevAlloc*.

### Parameters

<i>DeviceId</i>	ALP device identifier
<i>ControlType</i>	control parameter that is to be modified
<i>ControlValue</i>	value of the parameter

The following settings are available:

ControlType	ControlValue	Description
ALP_SYNCH_POLARITY	ALP_LEVEL_HIGH or ALP_DEFAULT	active high frame synch output signal polarity
	ALP_LEVEL_LOW	active low frame synch output signal polarity
ALP_TRIGGER_EDGE	ALP_EDGE_FALLING or ALP_DEFAULT	high to low trigger input signal transition
	ALP_EDGE_RISING	low to high trigger input signal transition
ALP_DEV_DMDTYPE	ALP_DMDTYPE_XGA (maps to 0.7" XGA Type-A), ALP_DMDTYPE_XGA_07A, ALP_DMDTYPE_XGA_055X, ALP_DMDTYPE_1080P_095A, ALP_DMDTYPE_WUXGA_096A	ALP-4 is available with different DMD types. It detects automatically which type of DMD is connected, so this feature should not be necessary in most cases. For testing purposes, this <i>ControlType</i> can be used to force the API to behave as if another specified DMD type is connected. See also <i>AlpSeqPut</i> . <i>Note:</i> DMD type selection is accepted only before the first call of <i>AlpSeqAlloc</i> after <i>AlpDevAlloc</i> .
ALP_DEV_DMD_MODE	ALP_DMD_POWER_FLOAT	Set the whole DMD to an inactive state. All micro-mirrors are released from deflected to an almost flat (floating) state. Sequence display is not available in this state, but ALP settings and memory are preserved.
	ALP_DEFAULT	Wake up DMD from inactive state.
ALP_USB_CONNECTION	ALP_DEFAULT	Trigger a re-connect to the device after a temporary USB disconnect.
ALP_PWM_LEVEL	0 to 100 (Percentage)	duty cycle of the PWM pin, see PWM Output below