

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud MAMMERY, Tizi-Ouzou



Faculté de Génie Electrique et d'Informatique
Département d'Automatique

Mémoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme

De Master Académique en Automatique,
Option : Commande des Systèmes

Thème

Elaboration d'un système de mesure
en basses dimensions

Proposé par : M^r. BENFDILA Arezki

Présenté par :

M^r. AIT OUARAB Salah

M^r. ALLEK Mouloud

Soutenu le : / /2013

Promotion 2013

Sommaire

Introduction générale

Chapitre I: Généralité sur l'étude de surface.

Introduction :	1
I. Structure d'une surface :	1
II. Principe général d'une méthode de détection des déformations :	3
III. Paramètres d'une surface :	4
IV. Quelques Techniques de détections de rugosité:	6
IV.1. Le palpeur classique:	6
IV.2. Avantages et inconvénients :	7
IV.3. Microscopies à champ proche :	7
IV.3.1 Les modes de fonctionnement appliqué cette technique:	9
IV.3.1.1. Le mode à courant constant :	9
IV.3.1.2. Le mode a hauteur constante :	9
IV.3.2. Aspect expérimental :	10
IV.3.3. Avantages et inconvénients de la STM :	10
IV.4. La Microscopie à Force Atomique (AFM) :	10
IV.4.1. Principe de l'AFM :	10
IV.4.2. Les différents modes de fonctionnement de l'AFM :	11
IV.4.2.1. Mode contact :	12
IV.4.2.1.1 Mode de contact intermittent :	12
IV.4.2.1.2 Mode non contact vibrant :	12
IV.4.3. Avantages et inconvénients de l'AFM :	13
V. Choix de la méthode adapte à la détection de la rugosité :	13
VI. Principe de la technique adoptée :	13
VI.1. 1 ^{er} interprétation :	14
VI.2. 2 ^{er} interprétation :	15



Sommaire

Chapitre II: Notion sur l'optique et l'optoélectronique

Introduction :	17
I. Propriétés fondamentales de la lumière	17
I.1. Aspect ondulatoire et corpusculaire	17
I.1.1. Aspect ondulatoire (ondes électromagnétiques) :	17
I.1.2. Aspect corpusculaire (le photon)	18
I.1.3. Effet photoélectrique et libération de charge :	19
I.2. Grandeurs photométriques :	19
II. Interaction lumière-matière	20
II.1. Réflexion de la lumière	20
II.1.1. Loi de réflexion	20
II.1.2. Réflexion de la lumière dans la réalité	21
II.1.3. Réflexion diffuse	22
II.1.4. Réflexion spéculaire	22
II.1.5. Réflexion finale	23
II.2. Réfraction de la lumière	23
II.2.1. Loi de réfraction	23
II.2.2. Indice de réfraction	24
II.3. Absorption	24
II.4. Bilan d'interaction d'un flux lumineux avec la matière:	25
III. Composant optoélectronique	26
III.1. Photodiode	26
III.1.1. Avantage des photodiodes :	27
III.1.2. Inconvénient	27
III.1.3. Matériaux de base	27
III.1.4. Application	27
III.2. Phototransistor	28
III.2.1. Avantage	29
III.2.2. Inconvénient	29
III.2.3. Application	29

Sommaire

IV. Comparaison et choix du capteur	29
V. photomultiplicateur	30
Chapitre III: Descriptions du système mécanique	
Introduction :.....	32
I. Partie mécanique :.....	32
I.1. Réducteur mécaniques :.....	32
I.1.1. Conditions d'engrènement	33
I.1.2. Rapport des fréquences de rotation :	33
I.2. Translation :.....	34
I.3. Schéma Synoptique du Dispositif de translations (x, y):	35
I.4. Le porte sonde :	36
II. Les moteurs pas à pas et leur contrôle :.....	36
II.1. Définition d'un actionneur pas à pas :	36
II.2. Les différents types de moteurs :.....	39
II.2.1. Les moteurs à aimants permanents (moteurs unipolaires et bipolaires) :.....	39
II.2.1.1. Les moteurs unipolaires :.....	41
II.2.1.2. Les moteurs bipolaires :.....	42
II.2.1.3. Commande des moteurs à aimants permanents :	43
II.2.2. Les moteurs à réluctance variable:.....	45
II.2.3. Les moteurs hybrides:	46
II.3. Classification par Nombre de phase:.....	46
II.3.1. Les moteurs à 4 fils (bipolaires):.....	47
II.3.2. Les moteurs à 5 fils (unipolaires):.....	47
II.3.3. Les moteurs à 6 fils:	47
II.3.4. Les moteurs à 8 fils :	47
III. Alimentation des moteurs pas à pas:	47
III.1. Alimentation unidirectionnelle et bidirectionnelle :.....	47
III.2. Alimentation en tension :	48
III.3. Alimentation unidirectionnelle:	48

Sommaire

III.4.Etude de la carte utilisée :	49
IV .Régulation de la position (l'encodeur) :	50
IV.1. Capteurs de position :	50
IV.2.Les codeurs optiques :	51
IV.2. 1. Codeurs incrémentaux :	51
IV.2.1.1 fonctionnement	51
IV.2.1.2. Avantages et inconvénients :	52
IV.2.2. Codeurs absolus :	53
IV.2.2.1. Fonctionnement :	53
IV.2.2.2. Mode de codage :	54
IV.2.2.3. Avantages et inconvénient	55
Chapitre IV : Fonctionnement globale.	
Introduction	56
I. Principe du fonctionnement	56
I.1.Pilotage de la sonde	56
I.2 Algorithme du fonctionnement globale	57
II. Description fonctionnelle de la chaine d'acquisition et de l'unité de traitement de donnes	59
II.1. Conditionnement du signal et acquisition de données	60
II.2.Constitution de la chaîne d'acquisition	60
III. Choix de la carte d'acquisition	62
IV. Caractéristique de la carte d'acquisition	63
V.L'unité d'analyse et de traitement de données.	63
V.1.Logiciel de programmation utilisé, le LabVIEW :	63
V.2. Les concepts de base de LabVIEW	64
V.2.1. Instrument virtuel	64
V.2.2. Les éléments d'une application LabVIEW	64
V.2.3. L'environnement de développement IabVIEW :	65
V.2.4.Acquisition de données	67

Sommaire

VI. Commande et simulation	67
VI.1.Méthodologie de la mise en œuvre de la chaîne d’acquisition de données et de contrôle.....	68
VI.2.Analyse préalable	68
VII. Réalisation et simulation des différents modules :	69
VII.1.Module acquisition de l’information des capteurs de position	69
VII.2.Module génération des impulsions de commande des deux moteurs pas à pas en demi-pas	72
VII.2.1.Programme de configuration d’une pine FIO en sortie :	73
VII.2.2.Programme de génération d’impulsion.....	73
VIII. Pilotage automatique de la sonde acquisition du courant image.....	76
IX. Acquisition et enregistrement du courant image sous forme de valeurs numériques rangées en matrice.....	79

Conclusion générale

TABLE DES FIGURES

Table des figures :

Figure 1.1 : <i>principe générale des méthodes de caractérisation de surface</i>	4
Figure 1.2 : <i>Longueur d'ondulation « L » d'un profil comportant cinq longueur de base</i>	5
Figure 1.3 : <i>La manière dont la pointe explore la surface</i>	6
Figure 1.4 : <i>Problèmes liés à la pointe, effet de rayon de courbure et surface rentrante</i>	7
Figure 1.5 : <i>Le courant tunnel dans un système STM est localisé au bout de la pointe</i>	8
Figure 1.6 : <i>Aspect expérimental</i>	9
Figure 1.7 : <i>principe de la microscopie a force atomique</i>	11
Figure 1.8 : <i>Principe la technique proposé</i>	14
Figure1.9 : <i>Les deux types de réflexion</i>	14
Figure 1.10 <i>La variation de la longueur de propagation suivant la forme de la surface</i>	15
Figure 2.1 : <i>forme de propagation de l'onde électromagnétique</i>	17
Figure 2.2 : <i>Spectre électromagnétique</i>	18
Figure 2.3 : <i>Interaction lumière-matière</i>	20
Figure 2.4 : <i>Loi de réflexion</i>	21
Figure 2.5 : <i>Réflexion réel</i>	21
Figure 2.6 : <i>Réflexion diffuse</i>	22
Figure 2.7 : <i>Réflexion spéculaire</i>	22
Figure 2.8 : <i>Réflexion final</i>	23
Figure 2.9 : <i>Réflexion de la lumière</i>	24
Figure 2.10 : <i>La courbe du courant en fonction de la lumière</i>	23
Figure 2.11 : <i>Photomultiplicateur.</i>	31
Figure 3 .1 : <i>Réducteur mécaniques.</i>	32
Figure 3.2 : <i>l'engrenage à crémaillère.</i>	34
Figure 3.3 : <i>Dispositif de translations (x, y)</i>	35
Figure 3.4 : <i>Schéma bloc de principe de contrôle de moteur pas à pas.</i>	37
Figure 3.5 : <i>Moteur pas à pas.</i>	38
Figure 3.6 : <i>Structure interne d'un moteur pas à pas</i>	38
Figure 3.7 : <i>Fonctionnement schématique d'un moteur pas à pas.</i>	40

TABLE DES FIGURES

Figure 3.8 : Représentation schématique d'un moteur pas à pas.	41
Figure 3.9 : Séquence de rotation simple.	41
Figure 3.10 : Représentation schématique d'un moteur bipolaire.....	42
Figure 3.11 : Mode monophasé.	43
Figure 3.12 : Mode biphasé.	44
Figure 3.13 : Mode demi pas.	44
Figure 3.14 : Moteur à reluctance variable.....	45
Figure 3.15 : Structure interne d'un moteur hybride.	46
Figure 3.16 : Les moteurs à 4 fils (bipolaire).	46
Figure 3.17 : Alimentation en tension unidirectionnelle.	48
Figure 3.18 : Implémentation d'un capteur sur une machine tournante.	50
Figure 3.19 : Image illustrative d'un codeur incrémental.....	51
Figure 3.20 : Vu d'un disque gradué de codeur incrémental et principe de détection du sens de rotation du « Top zéro » et les signaux sur chaque piste.	52
Figure 3.21 : Exemple d'un codeur incrémental.	53
Figure 3.22 : Disque grave d'un codeur absolu.	54
Figure 3.23 : Signaux de sorties délivrer par le codeur.	55
Figure 4.1 : pilotage de la sonde	56
Figure 4.2 : position des capteurs sur la sonde	57
Figure 4.3 : L'organigramme proposé pour le cahier de charge	58
Figure 4.4 : Description fonctionnelle de la chaine d'acquisition.....	59
Figure 4.5 : La chaine d'acquisition numérique	60
Figure 4.6 : La chaine de restitution.....	60
Figure 4.7 : module labjack U3-LV.....	62
Figure 4.8 : L'instrument virtuel en création	66
Figure 4.9 : palette des objets d'entrées/sorties Disponible dans la fenêtre face avant	66
Figure 4.10 : Palette des fonctions disponible dans la fenêtre Diagramme d'un LABVIEW.....	67
Figure 4.11 : Synoptique de commande.....	69
Figure 4.12 : Programme de simulation conçue pour la configuration des entrées de la LABJACK.....	70
Figure 4.13 : Programme de configuration dans le bloc Diagramme	71
Figure 4.14 Le chronogramme de signaux de commande des moteurs	72

TABLE DES FIGURES

Figure 4.15 <i>programme de configuration d'une pine FIO en sortie de la carte</i>	73
Figure 4.16 <i>Programme de génération d'impulsion</i>	74
Figure 4.17 <i>Signaux générés par le programme</i>	75
Figure 4.18 <i>Pilotage automatique de la sonde</i>	76
Figure 4.19 : <i>programme de génération des codes [0..4]</i>	77
Figure 4.20 : <i>la face avant du programme de la figure 1.19</i>	78
Figure 4.21 : <i>programme pour l'enregistrement des signaux provenant du capteur</i>	79
Figure 4.22 : <i>Programme de la figure 4.21 sur la face avant.</i>	80

Dans ce modeste travail on a fait la conception d'un mécanisme de scan à base de deux moteurs pas à pas pouvant balayer une surface et effectuer une mesure à chaque déplacement élémentaire et enregistre les données sous forme d'une matrice en utilisant une carte d'acquisition *LABJACK* et un logiciel de programmation graphique *LABVIEW*

Introduction générale :

Les propriétés physiques et structurelles des matériaux solides sont fondamentalement reliées à leurs surfaces. Cette surface paraît la plus importante partie quand elle est visible (impression visuelle, rendre plaisant, beauté design etc.) mais beaucoup plus intéressante quand elle est invisible vue son impact sur les caractéristiques des matériaux et dispositif fabriqués à base de ces matériaux. Cet aspect visible n'est qu'une des fonctions d'une surface de matériaux, l'invisible l'emporte car les technologies nouvelles, la micro- et nanotechnologie ont imposées une nouvelle utilisation des traitements de surfaces.

Dans le contexte de la nano technologie et la micro robotique la mesure d'information issue du monde des objets micrométriques est une problématique importante. Du fait du facteur d'échelle, le comportement des objets à cet état n'est plus gouverné par leur masse (qui est un effet de volume), mais par les effets de surface.

Le contrôle de la rugosité des surfaces est un point capital dans plusieurs domaines, il existe de nombreuses méthodes sollicitant le matériau de façon qu'ils servent à l'application à la quelle il est destinée. On utilise des procédés divers mais en tenant compte de la composition chimique de l'échantillon et des paramètres thermodynamiques pour une sollicitation sans aucun dommage. Il est souvent utile d'avoir recourt à plusieurs techniques afin d'élucider les différents phénomènes de surface, sachant qu'il n'existe pas une technique unique capable de nous fournir toutes les informations sur la morphologie d'une surface.

Dans ce modeste travail nous avons mis en œuvre un procédé de test et mesure pour des faibles dimensions, capable de nous fournir des informations exploitables dans différents domaines physique et technologique spécialisés pour la détection de rugosité et des formes de surfaces, en se basant sur une technique optique et un mécanisme capable de réaliser un balayage à deux degré de liberté.

Ce mémoire est organisé comme en quatre chapitres décrits ci-dessous.

Dans le premier chapitre on a cité quelque technique de caractérisation d'une surface et justifié le choix de la méthode optique et son principe de fonctionnement.

Le deuxième chapitre est consacré à l'optique et l'optoélectronique afin de mieux comprendre le principe de fonctionnement de notre capteur optique.

L'actionneur utiliser dans cette conception est le moteur pas a pas on, les différents type de moteur pas a pas, la carte de commande utilisé ainsi que la régulation de leur position ont été décrit. La partie mécanique a été traitée après ces moteurs au troisième chapitre.

Le dernier chapitre est consacré au fonctionnement global du système proposé. on présente le logiciel de programmation utilisé pour le traitement de données, le LabVIEW. Ainsi que tout les programmes simulés et les résultats obtenus.

Nous terminons par une conclusion qui met en évidence les apports et perspectives de ce travail.

Introduction :

Les surfaces et les interfaces jouent très souvent un rôle principal lors de la fabrication ou de l'utilisation des matériaux dans les domaines de la microélectronique et de l'optique.

La rugosité, la morphologie et la forme précise des structures résultent en fait des propriétés physico-chimiques des surfaces et des interfaces et de la manière dont elles sont fabriquées. Il est donc d'un intérêt primordial de les analyser pour bien connaître leurs caractéristiques.

Dans de nombreux domaines, plusieurs techniques d'analyse de surface sont utilisées pour contrôler et pour améliorer la qualité des performances des matériaux aussi bien dans la recherche que dans l'industrie. L'analyse de la morphologie est l'un des moyens de contrôle des matériaux à l'échelle microscopique et parfois à l'échelle nanométrique.

I. Structure d'une surface :

La surface physique d'un matériau peut être définie comme la partie extérieure, qui constitue la limite de l'espace qu'il occupe. Elle est un amalgame comprenant des zones avec des propriétés physiques et chimiques dépendant de la composition du matériau et de l'environnement.

Nous pouvons définir une surface du point de vue de la géométrie analytique comme l'ensemble des points de coordonnées x , y et z vérifiant une équation de la forme :

$$F(x,y,z)=0 \quad 1$$

Ceci est une fonction permettant de représenter points par points les différences de hauteurs par rapport à une ligne de référence. Elle permet de représenter en tous points la déviation entre la topographie mesurée et le plan moyen.

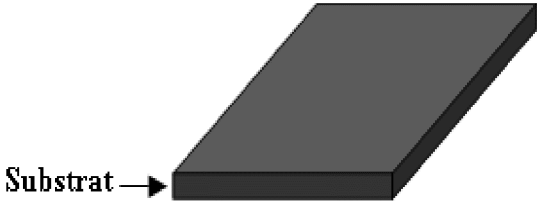
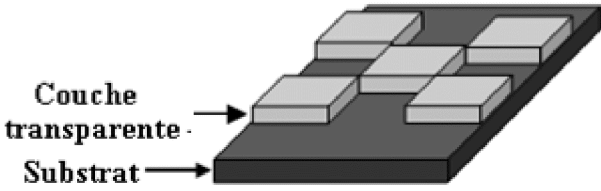
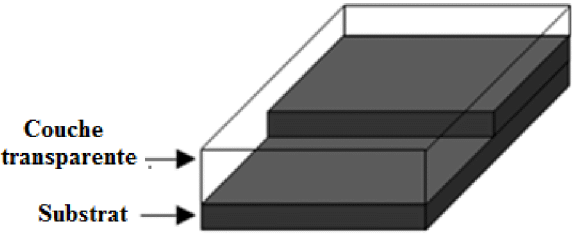
Pour caractériser une surface, le mathématicien définit une surface par une équation, alors que le physicien et le chimiste doivent l'observer et l'analyser à l'aide d'une technique de caractérisation.

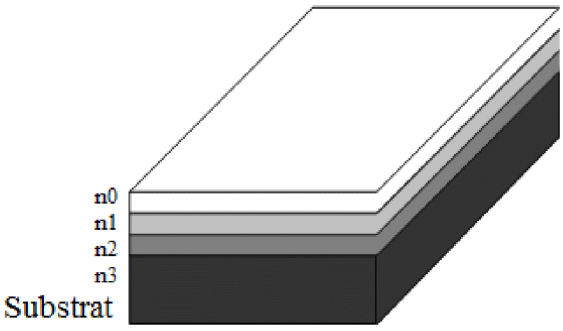
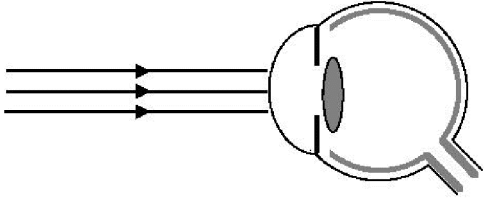
Le choix d'une telle technique dépend fortement du type d'échantillon à caractériser et du type d'information que l'on désire obtenir.

Il existe différents types de surfaces allant du plus simple au plus complexe. Dans notre étude orientée vers la détection et la mesure des rugosités sur les reliefs. Nous pouvons tenter d'identifier les deux premières "familles" de structures illustrés dans le tableau I.1 si dessous :

1. Les surfaces uniques air/substrat.
2. Les surfaces enterrées (air/couche/substrat).
3. Les multicouches (air/couche1/couche2/couche3/substrat).
4. Les structures transparentes contenant des objets simples avec des indices différents.
5. Les structures diffuses plus complexes.

Tableau 1.1 : Les différentes « familles » de structures de surface.

	Différentes structures de surface	Nom physique	Exemple
1		Structure avec un relief de surface unique	Rugosité ou structure dans le silicium
2		Structure dans une couche transparente sur un substrat	EODs
3		Structure enterrée (couche transparente sur substrat)	Marche en Si enterrée sous une couche de résine

4		Structure multicouches	Guide optique Cellules photovoltaïques
5		Structure transparente complexe	Oeil
6	Echantillon biologique	Structure diffuse complexe	Peau (graisse, muscle,...)

II.Principe général d'une méthode de détection des déformations :

Toute méthode de détection est basée sur un même principe qui consiste d'une part, à envoyer une sonde sur un échantillon afin de créer une interaction sonde-échantillon et d'autre part, une analyse de la réponse que l'on obtient. Donc la sonde joue le rôle d'une excitation.

Parmi ces techniques, nombreuses sont celles à caractère destructif réalisés a base des dispositifs de captage à contacte (le palpeur classique) ce qui met en avant les techniques sans contact et donc non-destructives qui sont généralement des concepts basés sur l'émission et la réflexion des différentes types d'ondes (acoustiques, électromagnétiques... Etc.). Il est souvent utile d'avoir recourt à plusieurs techniques afin d'élucider les différents phénomènes de surface, sachant qu'il n'existe pas une technique unique capable de nous fournir toutes les informations sur la morphologie d'une surface.

La réponse de l'échantillon à cette excitation peut être externe avec émission

d'un rayonnement ou d'une particule ou circulation d'un courant, mais elle peut aussi avoir lieu de manière interne (par exemple : population de pièges dans les semi-conducteurs).

La figure I.1 illustre schématiquement et de manière simple, le principe général des différentes méthodes d'analyse d'une surface.

Nous allons nous limiter dans cette étude aux méthodes basées sur la détermination des caractérisations morphologiques permettant d'observer l'aspect extérieur des échantillons ; elles sont généralement associées à l'imagerie et à la métrologie

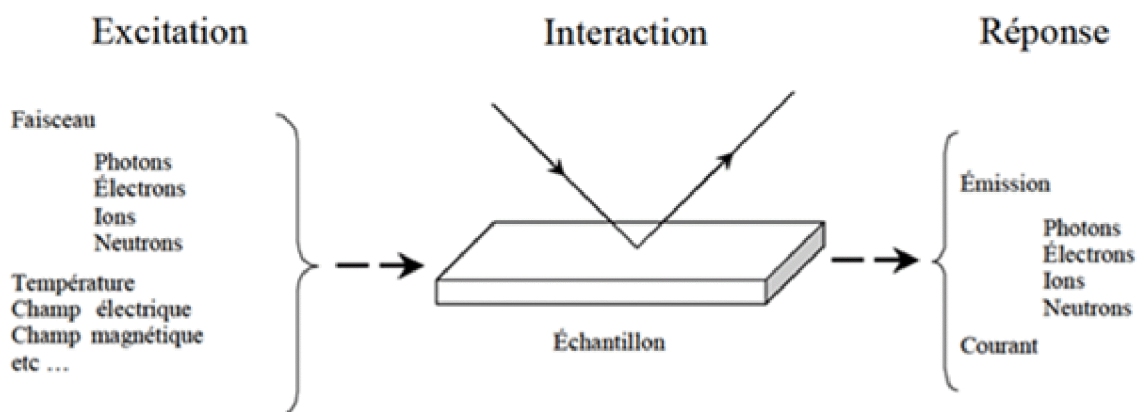


Figure 1.1 principe générale des méthodes de caractérisation de surface

III. Paramètres d'une surface :

Quand on veut déterminer les formes physiques d'une surface à partir de l'analyse d'un profil (2D) ou d'une image (3D) mesurée et puisque l'information que l'on cherche à déterminer est la déformation sur la surface exprimée souvent par le mot rugosité une question majeure se pose :

Sur quel critère peut-on nous baser pour caractériser une surface ?

En effet, le problème principal est de définir des critères qui vont nous permettre de caractériser la topographie de la surface, indépendamment de la technique de mesure, avec des paramètres significatifs. De nombreuses définitions peuvent rendre compte de la rugosité. Celles que nous avons utilisées principalement dans ce travail sont définies selon la norme Internationale ISO 4287, basée sur l'exploitation d'un profil (2D) obtenu par les méthodes de profil et non d'une image (3D).

P : Le profil bruité sans filtrage ou bien profil brut.

R : Le profil de la déformation ou bien profil de rugosité.

W : Le profil d'ondulation.

Les paramètres $2D$ peuvent être calculés respectivement sur le profil brut (P), ou après filtrage, sur le profil de rugosité (R) ou le profil d'ondulation (W).

La séparation entre ondulation et rugosité est effectuée par filtrage. Pour chaque paramètre, on définit le type de filtre et la longueur d'onde de coupure à utiliser.

Cette longueur d'onde, appelée « cut-off », représente la limite entre ondulation et rugosité, elle peut prendre un certain nombre de valeurs normalisées.

La longueur de base « l » du profil dans la direction de l'axe X , est numériquement égale à la longueur d'onde caractéristique du filtre choisi pour les profils de rugosité et d'ondulation.

La longueur d'évaluation « L » utilisée pour établir le profil à analyser peut contenir une ou plusieurs longueurs de base (Figure I.2).

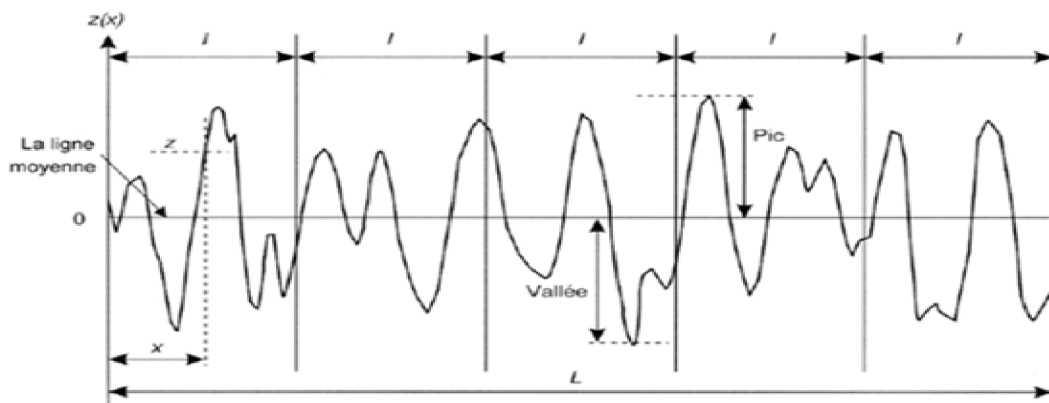


Figure I.2 : Longueur d'ondulation « L » d'un profil comportant cinq longueur de base

Les paramètres ($2D$) de base caractérisant l'amplitude, définis selon la norme Internationale *ISO 4287*, sont donnés par :

$Ra (Pa, Wa)$: écart moyen arithmétique, par rapport à la ligne moyenne de la rugosité.

Le $Ra (Pa, Wa)$ est souvent utilisé pour représenter la rugosité moyenne. Cependant, il ne donne pas d'informations sur la forme des irrégularités et n'est pas dépendant des différentes longueurs d'ondes qui composent la surface.

$$Ra (Pa, Wa) = \frac{1}{L} \int_0^L |Z(x)| dx \quad 2$$

$Rq (Pq, Wq)$: moyenne de l'écart moyen géométrique, par rapport à la ligne moyenne de la rugosité.

Le Rq est plus sensible aux pics et aux vallées que le Ra . Il est en fait un meilleur paramètre de rugosité pour discriminer différentes surfaces. Cependant, le Rq présente les mêmes problèmes que le Ra en ce qui concerne les longueurs d'ondes.

$$Rq(Pa, Wa) = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L Z^2(x) dx} \quad 3$$

Rq est souvent appelé la rugosité RMS « root mean square ».

Rt (Pt , Wt) : hauteur totale du profil sur la longueur d'évaluation. Il présente l'inconvénient d'être facilement faussé par des points extrêmes aberrants.

IV. Quelques Techniques de détections de rugosité:

IV.1. Le palpeur classique:

Le palpeur à base de stylet est la technique classiquement utilisée pour mesurer le relief 2D d'une surface. La plupart des stylets sont de simples diamants façonnés de manière à présenter un angle de cône et un rayon de courbure bien définis.

Cette technique est généralement utilisée sur les substrats durs (métaux, verres, silicium, ...).

La force de la pointe étant trop élevée (10 mg) pour pouvoir travailler sur des surfaces de polymère mou sans creuser dans la couche.

La surface de l'échantillon est explorée par une pointe en diamant de forme sphérique. Chaque déplacement vertical de la pointe est amplifié puis restitué sur un enregistrement sur papier. Suite aux progrès technologiques récents dans plusieurs domaines

Le micro positionnement, l'informatique, ...), il est possible d'enregistrer les données du profil de la surface sous forme d'un fichier numérique pour les traiter ultérieurement grâce à des logiciels spécifiques dans notre travail on va exploiter *labview* comme outil logiciel de traitement et d'enregistrement.

La figure I.3 montre la manière dont la pointe explore la surface :

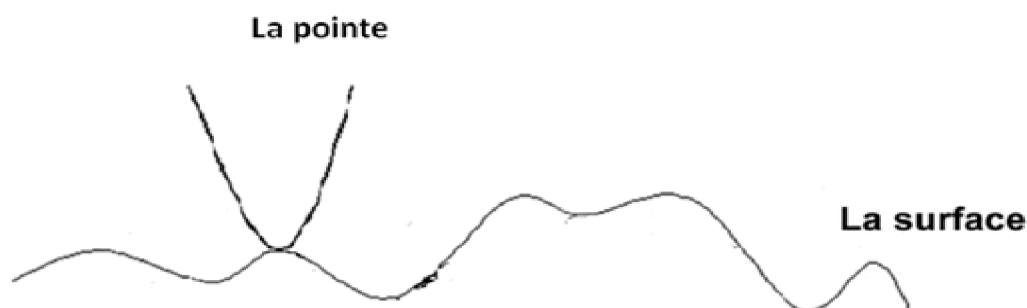


Figure 1.3 : La manière dont la pointe explore la surface

IV.2. Avantages et inconvénients :

Parmi les inconvénients de cette technique, on peut citer :

La force d'appui de la pointe peut influencer le résultat d'une mesure de rugosité car, si cette force est insuffisante, le stylet peut difficilement suivre le profil superficiel tout en rebondissant sur des aspérités rapprochées. Si la force d'appui est trop grande, le stylet peut endommager la surface étudiée et dans certains cas on risque de casser la pointe.

Le profil de rugosité mesuré ne constitue pas une représentation parfaite du profil réel de la surface, il représente la convolution de la forme de la pointe et celle du relief. L'erreur commise dans les creux liée au rayon de courbure de la pointe et les problèmes rencontrés quand on travaille sur des surfaces réentrantes montrent bien cette limitation (Figure I.4)

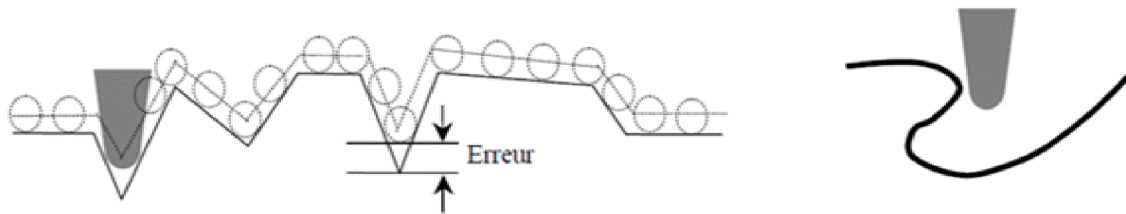


Figure 1.4 : *Problèmes liés à la pointe, effet de rayon de courbure et surface rentrante*

Malgré les différents inconvénients, le palpeur à base de stylet reste une technique de référence qui a montré son utilité depuis des dizaines d'années, cette technique était très utile pour la mesure des hauteurs de marches microniques.

IV.3. Microscopies à champ proche :

Les techniques de microscopie en champ proche prennent de plus en plus d'importance dans la détection de rugosité sur les surfaces ainsi que la caractérisation des matériaux.

Ce succès est tout d'abord dû à leur capacité d'imager ceux-ci depuis l'échelle micrométrique jusqu'à l'échelle moléculaire ou atomique. Elles permettent donc d'obtenir des informations complémentaires aux autres microscopies sur la micro- ou la nanostructure des matériaux.

Le principe de la STM repose sur un effet quantique : l'effet tunnel. Cet effet a été découvert en 1928 et mis en évidence dans des structures de type condensateur sandwich plan "métal-isolant-métal". L'isolant peut être le vide, mais aussi l'air ou un liquide quelconque.

C'est cette large gamme d'utilisations qui donne à la microscopie tunnel toute son importance (figure I.5)

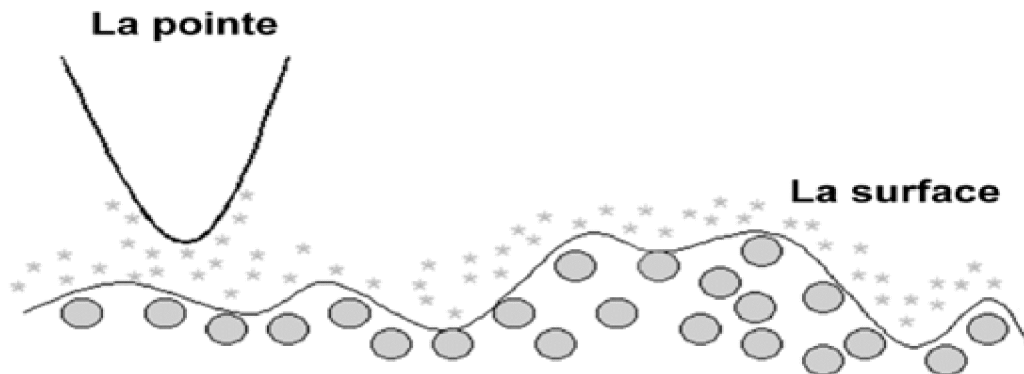


Figure 1.5 : Le courant tunnel dans un système STM est localisé au bout de la pointe

C'est le phénomène de l'arc électrique à basse échelle en effet un électron dans un métal peut être considéré comme une onde qui se propage, cette onde dans le vide est évanescente dont l'amplitude décroît très vite (exponentiellement) et si en plus le deuxième métal n'est pas loin (distance inférieure à 2nm) l'onde associée sera transmise et le courant pourra circuler, ce courant est appelé courant "tunnel".

En utilisant une pointe métallique très fine formant l'anode. Le courant tunnel sera ainsi localisé entre le bout de la pointe et la surface de l'échantillon qui forme la cathode (métal ou semi-conducteur). Il est ensuite possible de balayer la pointe au-dessus de la surface et de mesurer les variations du courant tunnel.

L'interaction entre la pointe et la surface dépendant de la structure locale de l'échantillon, cependant en effectuant un balayage en enregistrant pour chaque position de la pointe le courant tunnel, on réalise une image topographique de la surface dont la résolution sera une fonction de la taille de la pointe-sonde. Cependant, on constate tout de suite une limitation intrinsèque à cette méthode : le signal détecté est un courant électronique, ce qui implique qu'on ne puisse imager que des surfaces conductrices et, dans certains cas, des systèmes isolants adsorbés sur une surface conductrice.

IV.3.1 Les modes de fonctionnement appliqués à cette technique:

IV.3.1.1. Le mode à courant constant :

Dans ce mode, la position verticale de la sonde est réglée pour que le courant reste constant et on enregistre la hauteur Z de la pointe en fonction de la position X et Y .

La vitesse de balayage est limitée par le déplacement vertical de la sonde, inférieure à la fréquence de résonance de l'élément piézo-électrique. Ce mode est utilisé pour des échantillons présentant des rugosités importantes ou si l'on veut balayer des aires étendues, supérieures à $10 \times 10 \text{ nm}^2$.

IV.3.1.2. le mode à hauteur constante :

Dans ce mode, la vitesse d'acquisition peut être accrue substantiellement en gardant constante la position verticale de la sonde et en enregistrant les variations d'intensité de courant. Le facteur limitatif est la fréquence de résonance de balayage.

Ce mode est particulièrement intéressant si on veut étudier des faibles rugosités ou des aires beaucoup plus petites ($< 10 \times 10 \text{ nm}^2$).

IV.3.2. Aspect expérimental :

La mise en œuvre expérimentale du microscope à effet tunnel repose sur le principe suivant :

Une pointe, en général de *tungstène* (ou *Pt-Ir*), est solidaire d'un trièdre de trois céramiques piézo-électriques (X , Y , Z). La céramique Z contrôle la distance de la pointe à la surface à analyser, tandis que X et Y permettent le déplacement de la pointe parallèlement à celle-ci (Figure I.6).

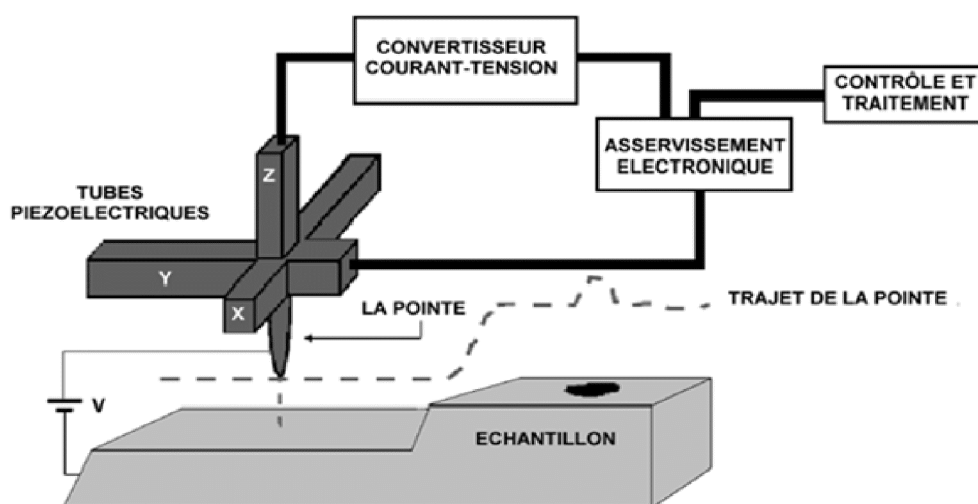


Figure 1.6 : Aspect expérimental

Le courant tunnel est en fait asservi à une valeur de référence et on agit en conséquence sur la tension appliquée à la céramique *Z* de façon à maintenir le courant tunnel constant. Cette tension est alors enregistrée en fonction de la position latérale de la pointe au-dessus de la surface.

Pour résoudre le problème de l'isolation mécanique du système contre les vibrations extérieures, la plupart des appareils utilisent des dispositifs à base de ressorts et de matériaux absorbants.

La pointe est l'un des éléments clés du microscope STM, car c'est elle qui détermine la résolution de l'appareil. Les pointes doivent non seulement avoir une taille et une forme bien adaptées, mais également être stables dans le temps.

IV.3.3. Avantages et inconvénients de la STM :

L'application la plus fréquente de la *STM* concerne la physique des matériaux conducteurs (à l'échelle atomique) à l'air ou sous vide. Sachant que cette technique marche également dans des liquides, elle est utilisée de plus en plus en biologie.

Comme inconvénients la *STM* est limitée aux matériaux conducteurs suffisamment dopés. Il faut éviter d'avoir un oxyde en surface, ajouter à cela que l'interprétation des images est rendue difficile car les informations recueillies sont un mélange de la structure électronique et de l'arrangement géométrique des atomes.

Comme avantage une très haute résolution (quelques angströms) et ne nécessite aucune préparation préalable n'a l'échantillon. La STM peut être utilisé dans différents environnements (air, vide et liquide).

IV.4. La Microscopie à Force Atomique (AFM) :

IV.4.1. Principe de l'AFM :

Son principe (mode contact) consiste à mesurer la force d'interaction entre l'atome du bout de la pointe et les atomes de la surface. La pointe est solidaire d'un bras de levier et l'échantillon est déplacé au-dessous de la pointe (Figure I.7) contrairement à ce qu'on a vu pour la *STM*, qui est basée sur le balayage de la pointe au-dessus d'un échantillon fixe. Quand deux atomes (celui de la pointe et celui de la surface) se font face, ils s'attirent par interaction de *Van der Waals*; dans l'espace entre deux atomes de la surface, la force d'attraction est moindre.

En mesurant la déflexion du bras de levier, on obtient une mesure directe de la force pointe-substrat suivant la loi de *Hooke* :

$$F = - kx \quad 4$$

Où k est la constante de raideur du ressort et
 x la déflexion du levier.

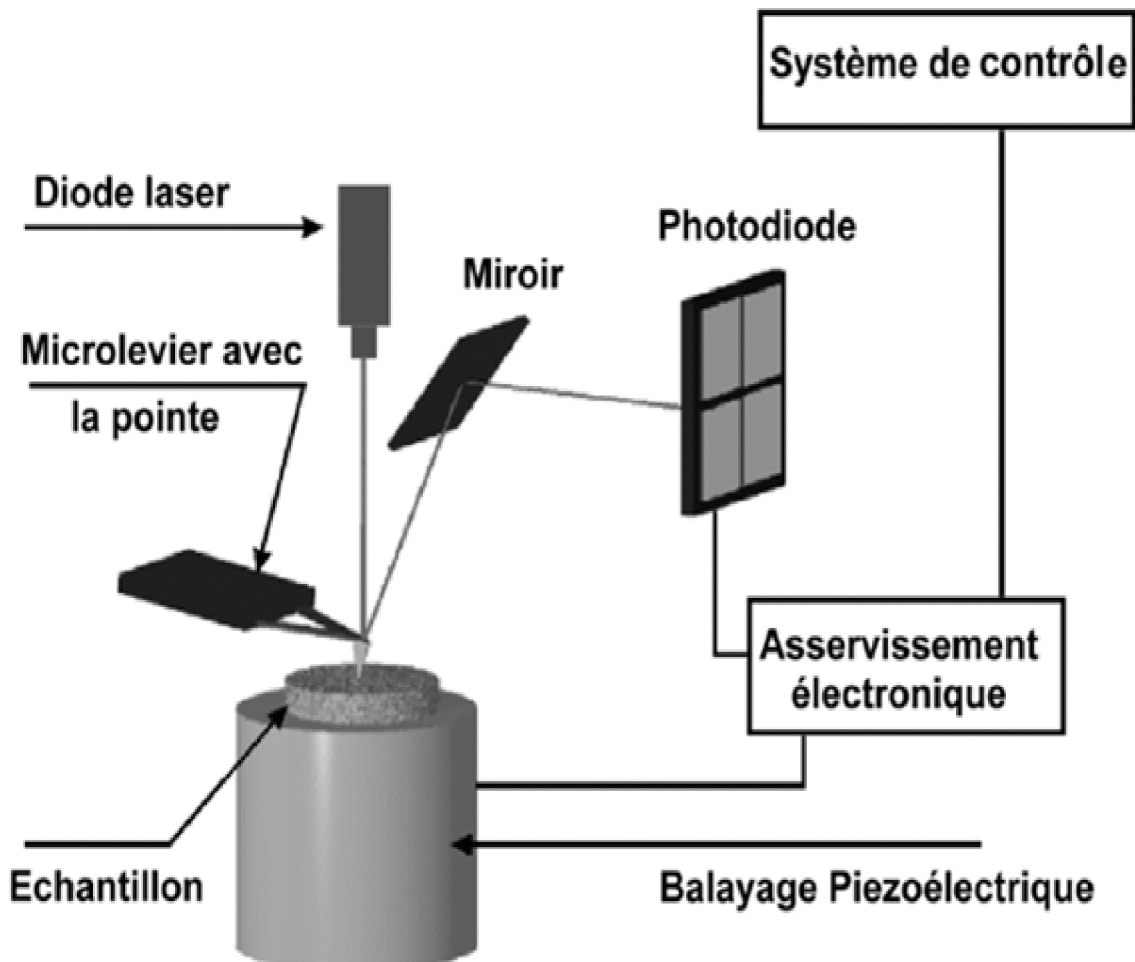


Figure 1.7 : principe de la microscopie à force atomique

La déflexion du bras de levier peut être mesurée par interférométrie optique ou plus simplement par la déflexion d'un faisceau laser réfléchi par un miroir. Le faisceau réfléchi tombe sur deux photodiodes en opposition; une petite déviation du faisceau donnera un signal différentiel aisément mesurable. On pourrait ainsi enregistrer l'amplitude de la déflexion en fonction de la position X et Y , et obtenir une image des forces d'interaction entre la pointe et les atomes de surface.

Introduction :

La compréhension des phénomènes optiques et l'évolution de l'électronique en général et la physique des semi-conducteurs en particulier a permis de mettre en œuvre une variété de capteurs optiques.

Ce chapitre est consacré pour une explication brève des phénomènes optoélectroniques ainsi que des notions de base sur les semi-conducteurs ce qui explique le principe de fonctionnement de notre capteur.

I. Propriétés fondamentales de la lumière :**I.1. Aspect ondulatoire et corpusculaire :****I.1.1. Aspect ondulatoire (ondes électromagnétiques) :**

Une onde lumineuse est formée d'un champ électrique et d'un champ magnétique orthogonaux, indissociables, perpendiculaires à la direction de propagation et variant sinusoidalement en phase.

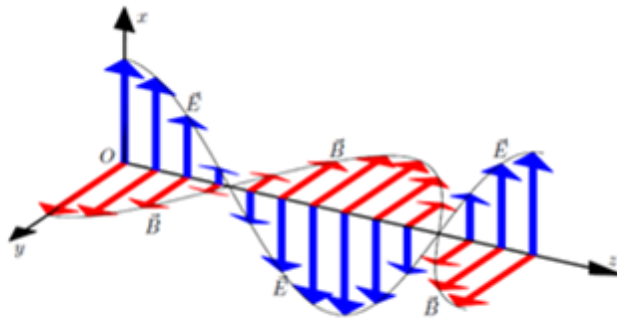


Figure 2.1 : *forme de propagation de l'onde électromagnétique*

La lumière visible est une radiation électromagnétique qui a une longueur d'onde comprise entre 390 et 770 nm.

La lumière que nous percevons est blanche lorsqu'elle est formée, dans une même mesure, de toutes les composantes du spectre visible ; elle est en revanche colorée en cas de prédominance d'un champ de longueur d'onde spécifique. (Figure II.2).

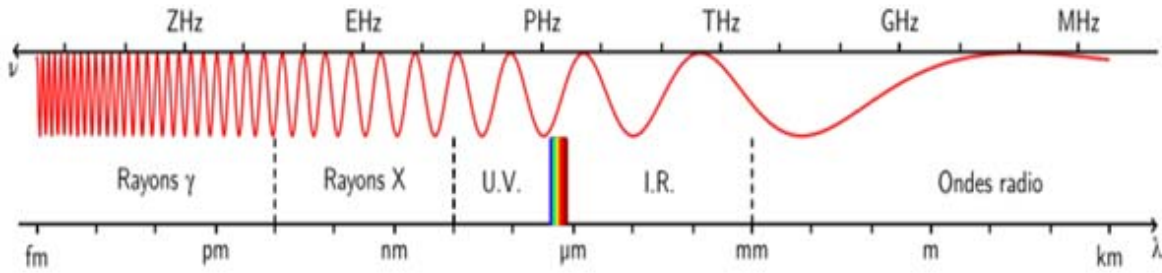


Figure 2.2 : Spectre électromagnétique

➤ Relation fondamentales :

$$v = \frac{c}{n} \quad \text{et} \quad \lambda = \frac{v}{f} \quad 1$$

λ : Longueur d'onde (m)

c : vitesse de la lumière dans le vide (299792 km/s)

f : Fréquence (Hz)

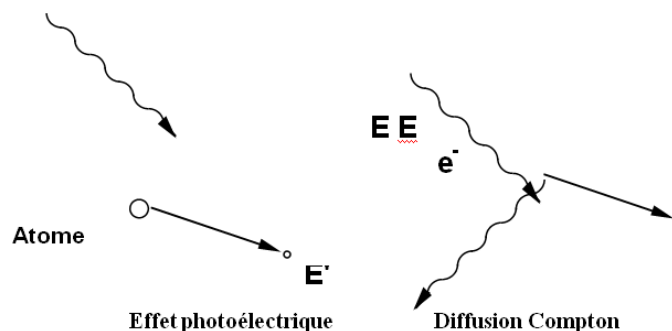
n : indice de réfraction du milieu ($n \geq 1$)

v : vitesse de propagation (m/s).

I.1.2.Aspect corpusculaire (le photon) :

Le photon est une particule élémentaire transportant une certaine énergie E à la vitesse de la lumière c . Lors de ses interactions avec la matière le photon cède une partie ou toute son énergie.

Exemples :



➤ Energie du photon :

$$E = h * f \quad 2$$

- Constante de Planck $h = 6.6256 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$.

I.1.3.Effet photoélectrique et libération de charge :

Pour qu'il y'ai l'effet photoélectrique il faut que les photons dispose d'une énergie suffisantes pour arracher les électrons $E = h * f E_0$ seuil ce seuil d'énergies correspond a la force de liaison qui règne entre l'électron et le noyau de l'atome.

I.2. Grandeurs photométriques :

Les grandeurs relatives aux rayonnements lumineux peuvent être évaluées :

- Abstraction faite de toute impression sensorielle, considération énergétique uniquement

⇒ Photométrie énergétique ou radiométrie.

- En tenant compte de l'impression visuelle,

⇒ Photométrie visuelle (spectre visible uniquement).

- Photométrie énergétique :

- Q : Energie rayonnante; énergie émise, propagée ou reçue sous forme de rayonnement (en joule)

- Φ : Flux énergétique; puissance émise, propagée ou reçue sous forme de rayonnement (en Watt = J s^{-1})

$$\Phi = \frac{dQ}{dt} \quad 3$$

- I : Intensité énergétique; flux énergétique émis dans une direction donnée sous l'angle solide unité (W sr^{-1})

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad 4$$

II. Interaction lumière-matière :

Lorsque la lumière atteint la surface d'un objet trois phénomènes se produisent simultanément :

- Réflexion à la surface.
- Transmission (Réfraction).
- Absorption.
- Réflexion sous la surface.

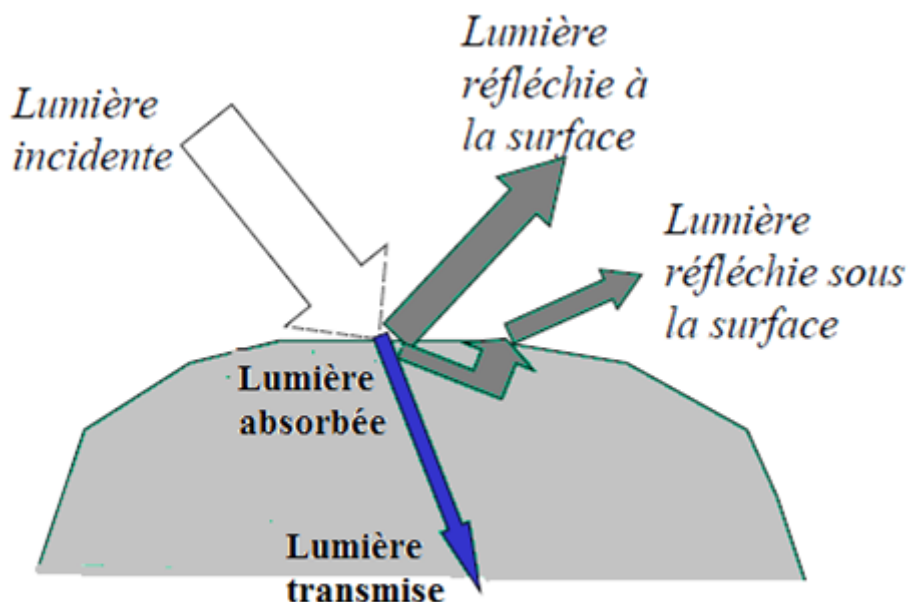


Figure 2.3 : Interaction lumière-matière

II.1. Réflexion de la lumière :

La lumière se propage en ligne droite et tout objet opaque lui fait obstacle. Comme le son, la lumière peut rebondir sur une surface : ce phénomène est appelé réflexion.

La majeure partie de la lumière qui atteint nos yeux a été réfléchie par les objets qui nous entourent.

II.1.1. Loi de réflexion :

Selon la loi de *Descartes – Snell*, la lumière incidente en un point d'une surface parfaitement plane selon un certain angle par rapport à la normale de la surface en ce point est réfléchie selon le même angle.

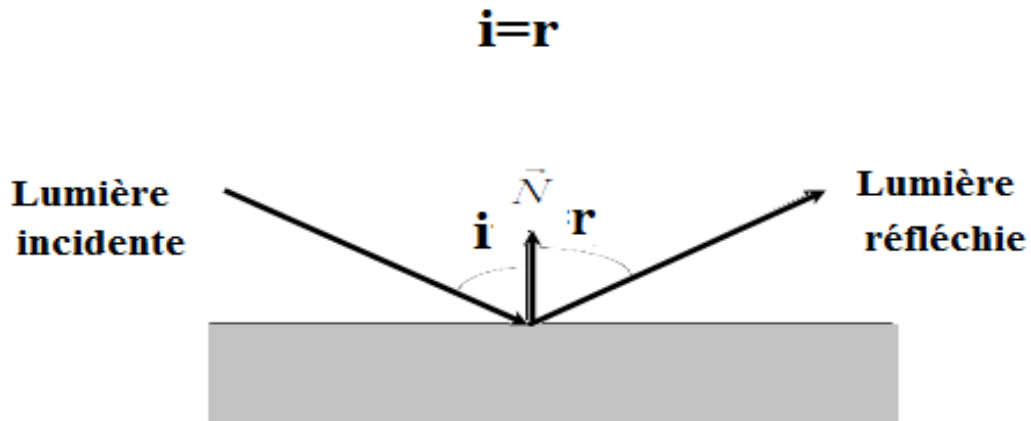


Figure II.4: Loi de réflexion

II.1.2. Réflexion de la lumière dans la réalité :

La lumière incidente sur une surface n'est réfléchie comme on vient de le voir que dans le cas de miroirs parfaits. En pratique, les surfaces réelles ont des défauts à un niveau microscopique.

La lumière n'est pas réfléchie dans une direction unique mais dans un ensemble de directions dépendant des propriétés microscopiques de la surface.

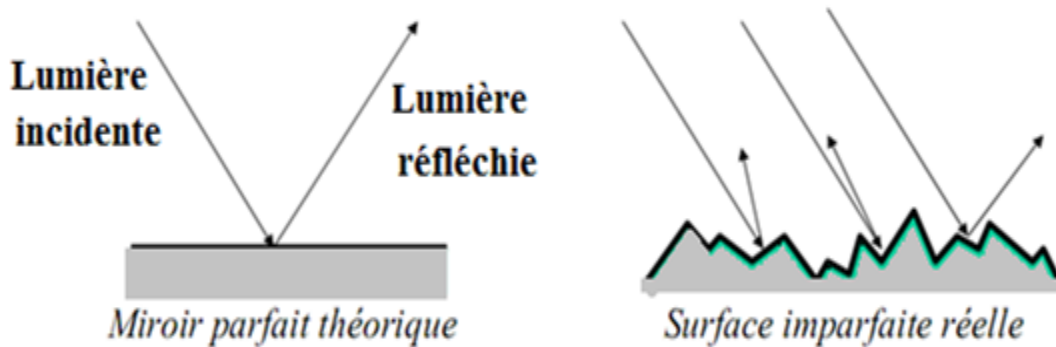


Figure II.5: Réflexion réel

Ces directions sont réparties selon une composante diffuse et une composante spéculaire.

II.1.3. Réflexion diffuse :

- La lumière incidente est réfléchiée dans toutes les directions.
- L'intensité réfléchiée ne dépend que de l'angle θ entre la direction de la source et la normale.
- L'intensité diffuse est maximale pour $\theta = 0$ (source de lumière à la verticale de la surface)
- Elle est nulle pour un éclairage rasant ($\theta=90^\circ$)

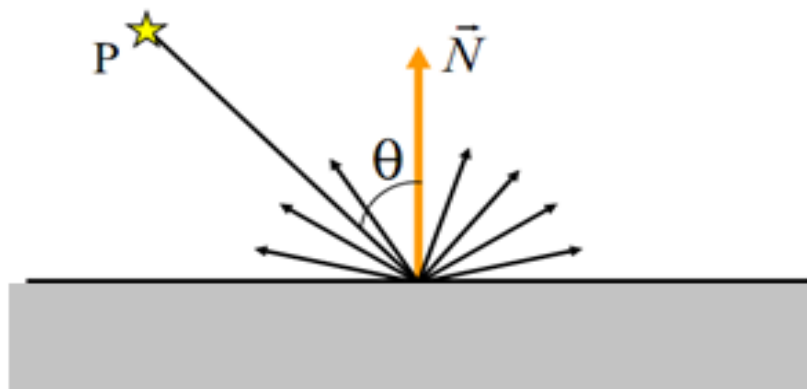


Figure 2.6 : Réflexion diffuse E.

II.1.4 .Réflexion spéculaire :

- La lumière est réfléchiée principalement dans la direction de réflexion parfaite.
- L'intensité de la lumière réfléchiée diminue lorsqu'on s'éloigne de cette direction parfaite.

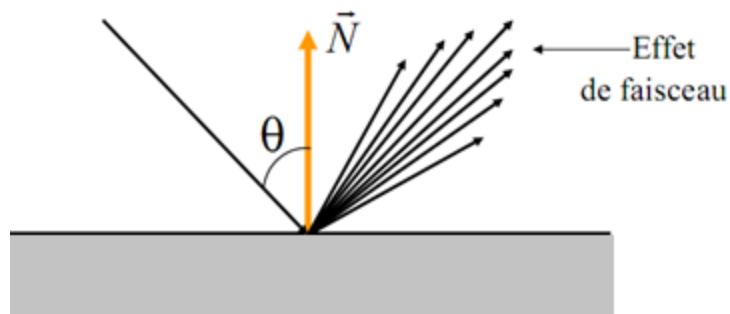


Figure 2.7 : Réflexion spéculaire .

II.1.5. Réflexion finale :

Dans la réalité, la lumière réfléchiée par une surface est constituée par la somme de la réflexion diffuse et de la réflexion spéculaire.

Cette fonction finale qui donne les directions de réflexion de la lumière en fonction de la lumière incidente est appelée une BRDF (Bidirectional reflectance distribution function).

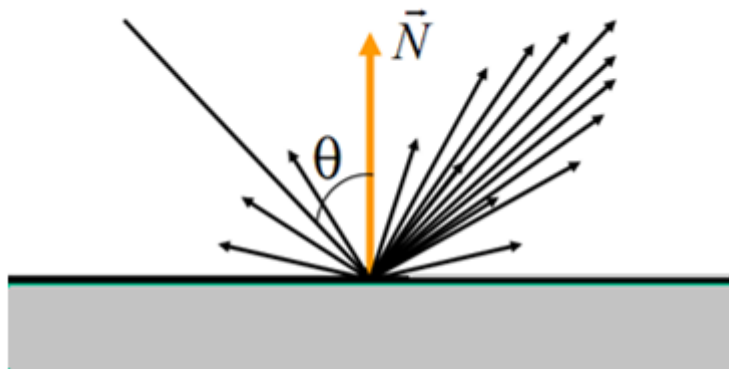


Figure 2.8 : Réflexion finale

Les proportions de réflexion diffuse et spéculaire dépendent du matériau. Certains sont plus diffus (craie, papier, etc.) que spéculaires (métal, verre, etc.).

II.2. Réfraction de la lumière :

Dans un milieu uniforme, la lumière se propage à une vitesse constante. Mais lorsqu'elle passe (transmission) d'un milieu transparent à un autre milieu transparent de densité différente (par exemple de l'air à l'eau), sa vitesse se modifie.

Ce changement de vitesse entraîne la déviation de la lumière on parle de réfraction de la lumière transmise.

II.2.1. Loi de réfraction :

L'angle de réfraction est lié à l'angle d'incidence par la relation *Descartes - Snell* :

$$n_1 \sin i = n_2 \sin r \quad 5$$

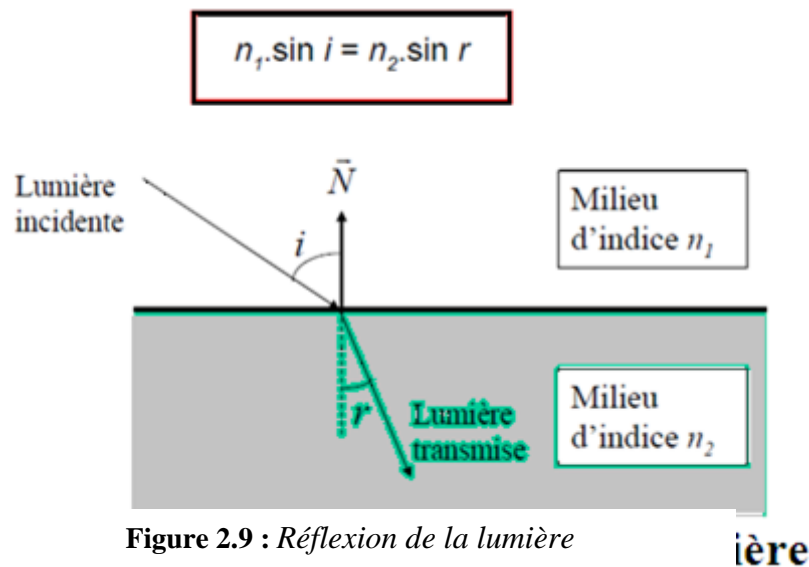


Figure 2.9 : Réflexion de la lumière

II.2.2. Indice de réfraction :

L'indice de réfraction d'un milieu correspond au rapport de la vitesse de la lumière dans le vide sur sa vitesse dans le milieu.

Plus l'indice de réfraction d'un milieu est grand et plus la vitesse de la lumière dans ce milieu est lente.

➤ Exemple :

Vitesse de la lumière dans le vide : $V1 = 300\ 000\ \text{km/s}$

Vitesse de la lumière dans un diamant : $V2 = 124\ 000\ \text{km/s}$

Indice de réfraction du diamant : $V1/V2 = 2,42$

II.3. Absorption :

La part de la lumière incidente sur une surface qui n'est pas réfléchi ou transmise (dans le cas de matériaux translucides) est absorbée.

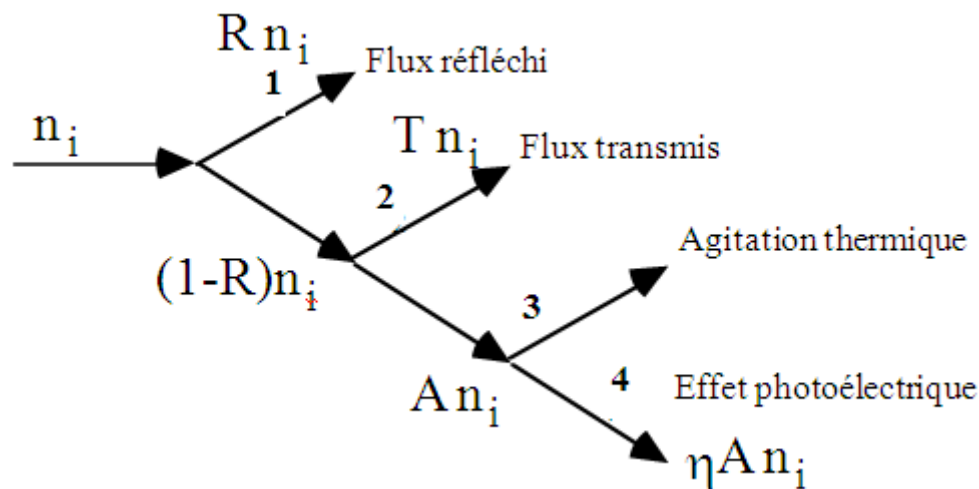
L'absorption correspond à la capture de photons par les électrons des atomes du matériau, qui se trouvent ainsi portés à des niveaux excités (mécanique quantique) ce qui induit les effets suivant :

- échauffement de la matière.
- production d'un courant électrique (effet photoélectrique)

II.4. Bilan d'interaction d'un flux lumineux avec la matière:

Lors de l'interaction d'un flux lumineux avec un matériau caractérisé par ses coefficients de réflexion R, d'absorption A et de transmission T la quantité de radiation emportée par chacun des phénomènes cités précédemment peut être modélisée par l'organigramme suivant :

- coefficient de réflexion R
- coefficient d'absorption A
- coefficient de transmission T
- n_i c est le taux des photons reçu par le matériau.



Dans la branche 4 afin de quantifier l'effet photoélectrique on procède ainsi :

Soit Φ le flux monochromatique qui représente le taux de photons par unité de temps :

$$\Phi = \frac{\Delta n_i}{\Delta t} \Rightarrow n_i \text{ (s}^{-1}\text{)} \quad 6$$

Nombre d'électrons ou de trous libérés par seconde :

$$G = \eta A \frac{\Phi}{hf} \quad 7$$

avec η rendement quantique (probabilité de l'effet phot.)

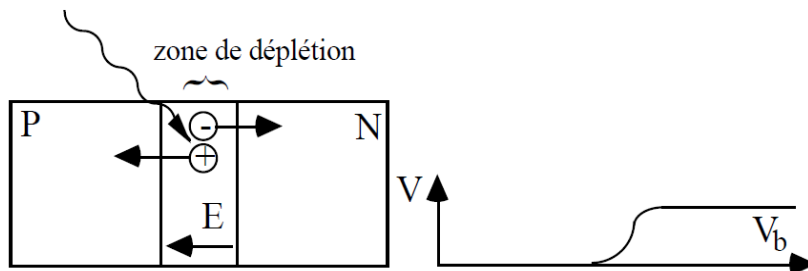
III. Composant optoélectronique :

III.1. Photodiode :

Une photodiode est un composant semi-conducteur ayant la capacité de détecter un rayonnement du domaine optique et de le transformer en signal électrique.

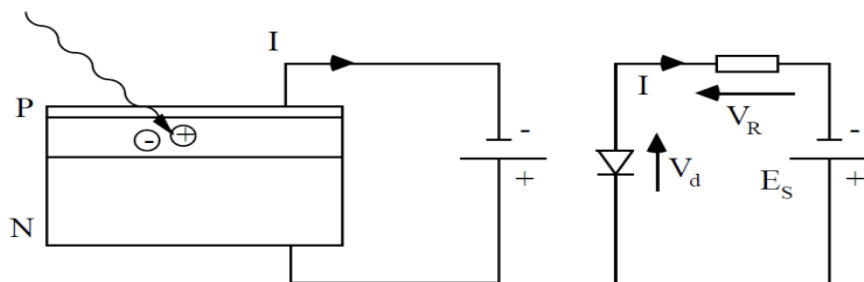
De part et d'autre de la jonction d'un semi-conducteur P et un semi-conducteur N forme une zone de déplétion dénuée de porteurs libres en équilibre car il y règne un champ électrique.

Ce dernier établit entre les deux éléments semi-conducteurs une de potentiel V_b .



Sous l'action de photons ayants une énergie $E=h*f > E_{seuil}$ des paires électrons trous vont être générées dans la zone de déplétion et être entraînées par le champ électrique.

La polarisation de la diode en inverse nous met en mode photovoltaïque comme le montre la figure si dessous :



- Réponse du capteur en courant:

$$I = I_o + I_p \quad 8$$

Avec :

- I_o courant d'obscurité
- I_p courant d'origine photoélectrique

$$I_p = \frac{qA}{hf} \Phi e^{-\alpha x} \quad 9$$

Donc la réponse en courant I est proportionnel à f

x : épaisseur de matière pour accéder à la zone de déplétion

α : coefficient d'atténuation

Equation du circuit électrique:

$$Es = RI - Vd \quad (16)$$

=> Droite de charge:

$$I = \frac{Es + Vd}{R} \quad 10$$

- 1) Temps transit : c'est le temps de parcours des porteurs dans la zone de charge d'espace.
- 2) Temps diffusion : c'est le temps de parcours des porteurs dans les régions neutres.
- 3) Rendement de capture : c'est le rapport du nombre de charges élémentaires traversant la jonction sur le nombre de photons incidents. Ce rendement dépend de la longueur d'onde du rayonnement et des paramètres de construction du composant. Il va définir le domaine spectral d'utilisation du détecteur.

III.1.1 Avantage des photodiodes :

- linéarité
- temps de réponse court
- grande bande passante

III.1.2. Inconvénient :

- sensibilité à la température

III.1.3. Matériaux de base :

- Si, Ge pour le visible et le proche IR
- GaAs, InAs, InSb, HgCdTe pour l'IR

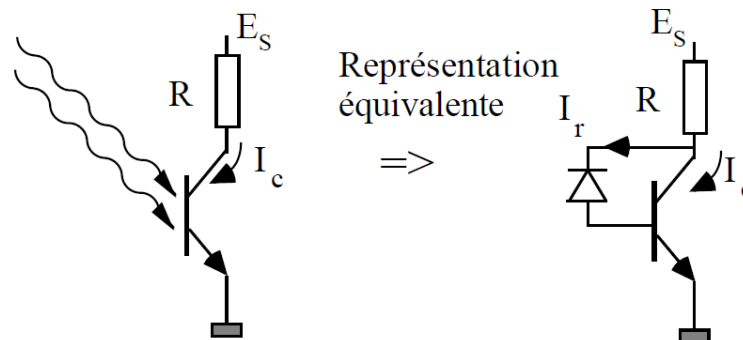
III.1.4. Application :

- commande
- photométrie (luxmètres...)
- mesure d'impulsions rapides (lasers déclenchés).....etc.

III.2. Phototransistor :

Un phototransistor est un transistor bipolaire dont la base est sensible au rayonnement lumineux, la base est alors dite flottante puisqu'elle est dépourvue de connexion.

Lorsque la base n'est pas éclairée, le transistor est parcouru par le courant de fuite I_o . L'éclairement de la base conduit à un photo courant I_p que l'on peut nommer courant de commande du transistor.



Lorsque la région voisine de la jonction base-collecteur est éclairée, elle se comporte comme une photodiode en mode photoconducteur dont le courant est

$$I_r = I_p + I_o \quad 11$$

$$\Rightarrow \text{courant collecteur: } I_c = (b + 1)I_r \quad 12$$

avec:

-> b le gain en courant du transistor en émetteur-commun

-> I_r le courant de base

$$I_r = I_o + \frac{qA}{hf} \Phi e^{-\alpha x} \quad 13$$

$$\Rightarrow \text{courant d'obscurité : } I_{co} = (b+1)I_o \text{ (1-10 nA à 25°C)} \quad (20)$$

$$\Rightarrow \text{courant photoélectrique : } I_{cp} = (b+1)I_p \quad (21)$$

Le gain b dépend de $I_c \Rightarrow$ dépend de F

\Rightarrow photo détecteur non linéaire.

➤ Performances

Saturation :

Si éclairement intense, la tension collecteur émetteur $V_{CE,sat}$ est de l'ordre de 0.2V

$$I_C = \frac{E_s - V_{CE,sat}}{R} \quad 14$$

III.2.1 Avantage :

- courant de mesure intense
- temps de réponse court

III.2.2 Inconvénient :

- non-linéarité
- sensibilité à la température

III.2.3 Application :

- commande
- photométrie (luxmètres si régime linéaire)

IV. Comparaison et choix du capteur :

Le courant d'éclairement du phototransistor est le photo courant de la photodiode collecteur-base multiplié par l'amplification β du transistor. Sa réaction photosensible est donc nettement plus élevée que celle d'une photodiode (de 100 à 400 fois plus). Par contre le courant d'obscurité est plus important.

On observe une autre différence entre phototransistor et photodiode : la base du Phototransistor est plus épaisse, ce qui entraîne une constante de temps plus importante et, donc une fréquence de coupure plus basse que celle des photodiodes. On peut éventuellement augmenter la fréquence de coupure en diminuant la photosensibilité en connectant la base à l'émetteur.

Le détecteur de lumière choisi à titre d'exemple pour notre étude est le BPX43. C'est un phototransistor NPN de très haute sensibilité. Son boîtier est métallique figé avec une lentille de verre. Le BPX43 présente une linéarité élevée, (Figure II.12)

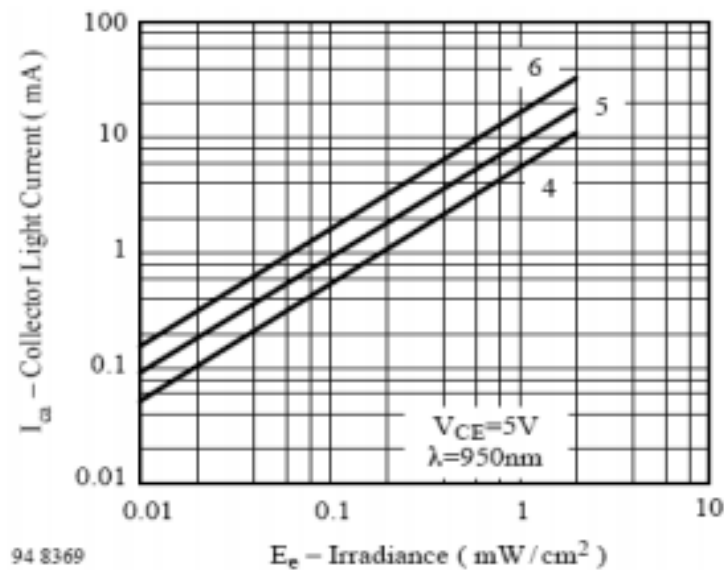


Figure 2.10 : La courbe du courant en fonction de la lumière

Le BPX43 est sensible aux longueurs d'onde de 950nm, la lumière infrarouge. Il donne en sortie une tension image de l'intensité de lumière absorbée qui varie de 0 à 5V, (V_{cc} collecteur = +5V).

Dans notre travail ce qu'il nous importe est la sensibilité car le temps d'acquisition est géré par la régulation de la position des deux moteurs pas à pas donc on a choisi le phototransistor en revanche l'utilisation d'un photomultiplicateur nous sera très bénéfiques afin d'assurer une meilleur sensibilité et un temps de réponse très court.

V. photomultiplicateur :

Le photomultiplicateur est un dispositif permettant la détection de photons. Il se présente sous la forme d'un tube électronique. Sous l'action de la lumière, des électrons sont arrachés d'un métal, par effet photoélectrique, à une photocathode, le faible courant électrique ainsi généré est amplifié par une série de dynodes utilisant le phénomène d'émission secondaire pour obtenir un gain important. Ce détecteur permet de compter les photons individuellement. Il est sensible de l'ultraviolet à l'infrarouge proche, le temps de réponse est de l'ordre de la nanoseconde (10⁻⁹ seconde).

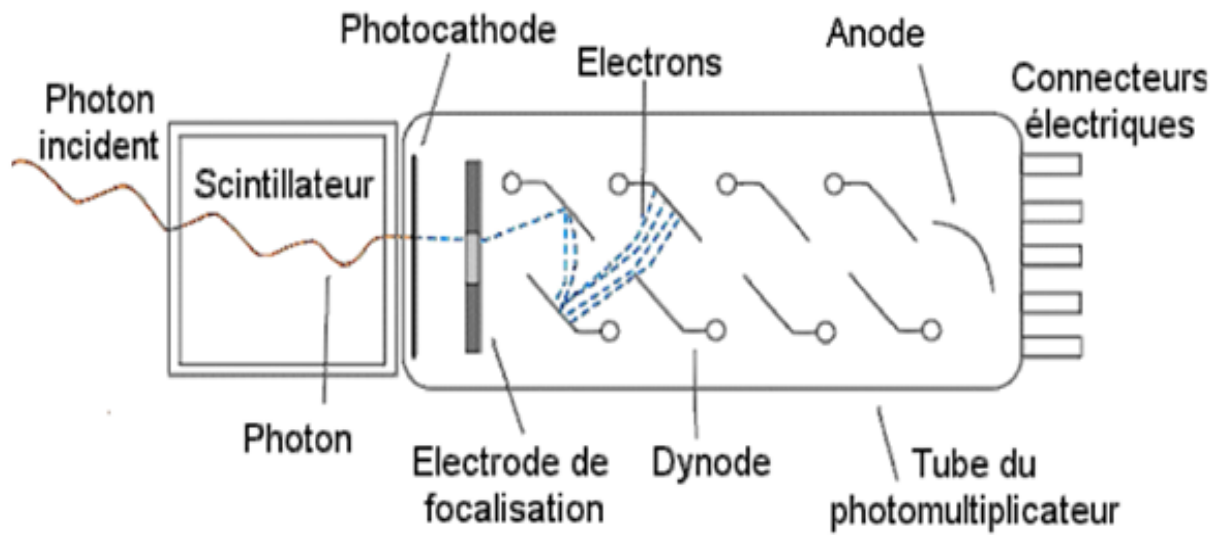


Figure 2.11 : Photomultiplicateur.

Introduction :

Toutes les techniques citées dans le chapitre (I) s'appuient sur un mécanisme qui lui permet de réaliser tous les mouvements nécessaires pour l'analyse et la détection. Cependant ce chapitre est dédié pour l'explication détaillé du mécanisme sur lequel s'appuie la méthode adoptée ainsi que ses différentes parties.

I. Partie mécanique :

L'objectif de cette partie est de mettre en œuvre un dispositif mécanique qui va nous permettre de réaliser le balayage en X et Y en transformant la rotation de nos deux moteurs pas à pas en translation et de mettre une loi de calcul qui convertit le pas de rotation θ_0 en pas de translation x_0 et y_0 , ainsi qu'une réduction du pas de rotation jusqu'à la précision souhaitée. Donc deux contraintes s'opposent à nous :

- réduction de l'angle de rotation
- transformation de la rotation en translation

I.1. Réducteur mécaniques :

On a choisi l'engrenage cylindrique à denture droite afin de transmettre, sans glissement, un mouvement de rotation continu entre deux arbres rapprochés et adapter les angles de rotation de l'arbre « moteur » et l'arbre « récepteur ».

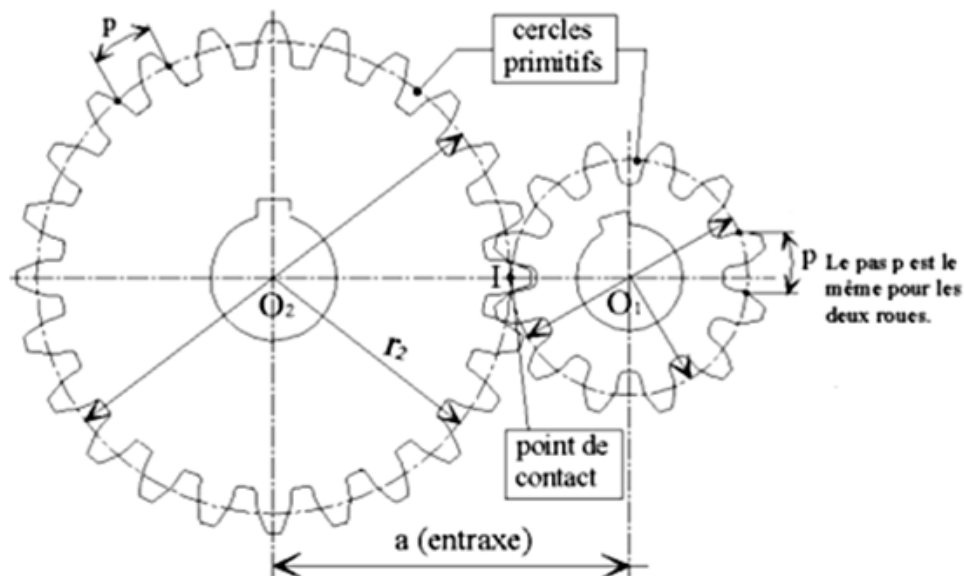


Figure 3.1 : Réducteur mécaniques.

- ✓ d_1 et d_2 diamètres primitifs.
- ✓ r_1 et r_2 rayons primitifs.
- ✓ z_1 et z_2 le nombre de dents de chaque roue.

Définitions :

- ✓ Engrenage : ensemble de deux « roues dentées »
- ✓ Pignon : la plus petite des deux roues dentées ou bien roue1
- ✓ Roue : la plus grande des deux roues dentées ou bien roue2

I.1.1. Conditions d'engrènement :

La roue et le pignon ont même module et même pas.

On définit l'entraxe de l'engrenage à contact extérieur par :

$$a = r_1 + r_2 \quad 1$$

I.1.2. Rapport des fréquences de rotation :

L'utilisation de roues dentées de diamètre primitif différent permet d'obtenir une modification de la fréquence de rotation de l'arbre récepteur n_2 par rapport à la fréquence de rotation de l'arbre moteur n_1 .

On définit le rapport de transmission comme étant le rapport des fréquences de rotation (appelé également raison) :

$$R = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\text{nrrouemenée}}{\text{nrrouemenante}} \quad 2$$

$$R = \frac{n_2}{n_1} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{Z_1}{Z_2} \quad 3$$

En résumé :

Donc pour un pas de rotation θ après réduction on obtient un pas θ_0 tel que :

$$\theta_0 = R * \theta \quad 4$$

On remarque qu'on augmentant le diamètre de la roue menée on diminue la valeur de la raison de réduction donc on obtient un angle de rotation plus réduit cependant il faut faire attention à l'inertie du réducteur pour qu'il ne dépasse pas la capacité du couple des moteurs

$$J = \frac{1}{R^2} J_c + J_r \quad 5$$

J_c : Inertie de la charge entraînée en sortie du réducteur.

J_r : Inertie du réducteur.

R : Rapport de réducteur.

L'inertie du réducteur se calcule étage par étage, chaque roue étant considérée comme un cylindre.

$$J_r = J_1 + \left(\frac{1}{R_1}\right)^2 (J_2 + J_3) + \left(\frac{1}{R_1}\right)^2 (J_4 + J_5) + \dots \quad 6$$

I.2.Translation :

Pour transformé la rotation en translation on a opté pour les méthodes de l'engrenage à crémaillère.

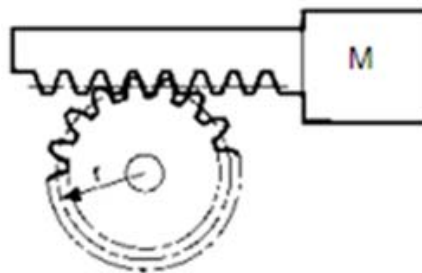


Figure 3.2 : l'engrenage à crémaillère.

Le pignon s'engrène dans une pièce munie de crans qui se déplace pour transformer un mouvement circulaire en un mouvement rectiligne ou inversement

L'inertie :

$$J = Mr^2 + \frac{mr^2}{2} \quad 7$$

M : Masse en translation.

m : Masse pignon.

r : rayon primitif du pignon.

Pour un angle de rotation élémentaire θ_0 on aura une translation élémentaire x_0 ou y_0 tel que :

$$x_0 = r * \theta_0 = y_0 \quad 8$$

I.3. Schéma Synoptique du Dispositif de translations (x, y):

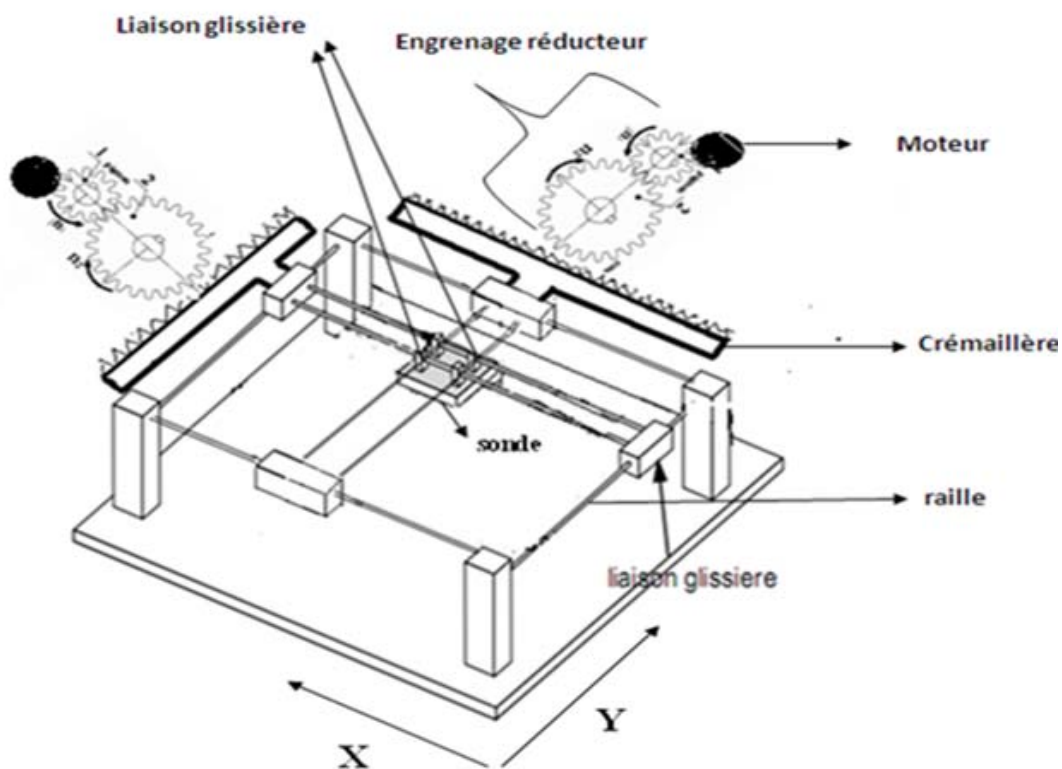


Figure 3.3 : Dispositif de translations (x, y)

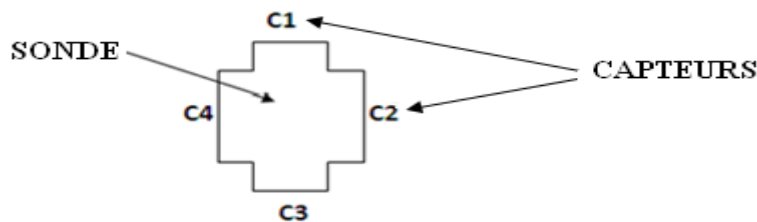
Le mouvement de notre sonde peut être effectué suivant deux degrés de liberté X et Y par le biais de liaisons glissières traversées par des railles qui se superposent orthogonalement sans qu'il y ait de contact entre elles.

Sous les liaisons glissières est accroché une plaque pouvant porter la sonde, les railles orthogonales traversant les liaisons glissières de la part de leur extrémité sont connectées à

d'autres liaisons glissières qui sont en contact avec une crémaillère qui est entraînée par l'engrenage réducteur de l'angle de rotation d'un moteur pas à pas afin d'assurer la translation de la sonde suivant une direction et précision souhaitée.

I.4. Le porte sonde :

Notre porte sonde doit balayer une table de déposition de l'échantillon à analyser, sur ses extrémités sont implantés quatre capteurs de fin de course (c1, c2, c3, c4).



II. Les moteurs pas à pas et leur contrôle :

II.1. Définition d'un actionneur pas à pas :

Le moteur pas à pas constitue un convertisseur électromécanique destiné à transformer le signal électrique (impulsion ou train d'impulsions de pilotage) en déplacement (angulaire ou linéaire) mécanique.

Entre le moteur et son alimentation, sont intercalés trois éléments essentiels

- une unité de calcul, qui élabore les impulsions de commande.
- un modulateur PWM, qui génère les commandes des contacteurs électroniques de commutation.
- une électronique de commutation (puissance), qui, à partir d'une alimentation, fournit l'énergie vers les enroulements appropriés du moteur.

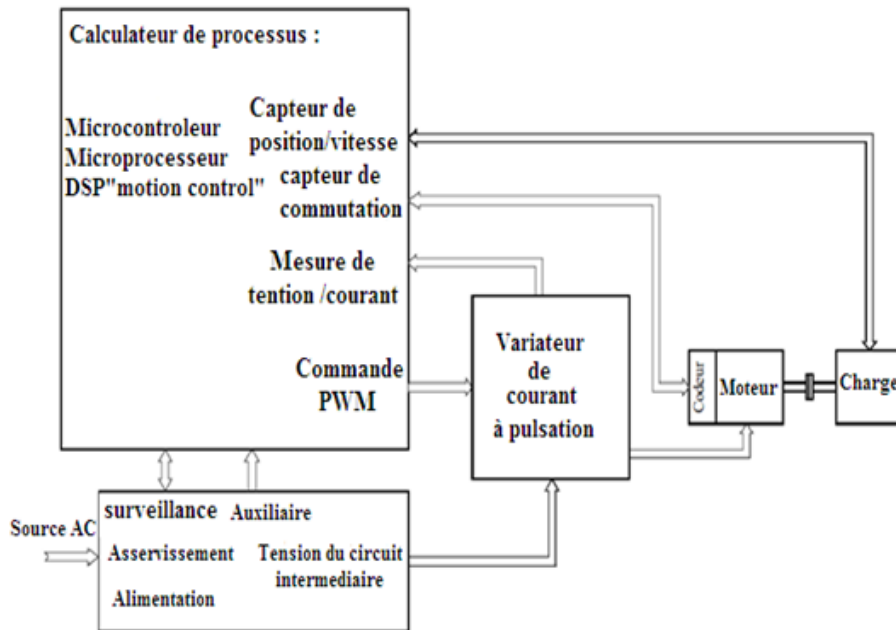


Figure 3.4 : Schéma bloc de principe de contrôle de moteur pas à pas.

L'alimentation de chaque bobinage du moteur par une tension particulière provoque l'apparition d'un courant qui engendre un champ magnétique de direction précise.

Le changement séquentiel des tensions particulières à chaque bobinage permet de déplacer la position du champ statorique selon une résolution élémentaire appelée pas.

Autrement dit, toutes configurations des tensions aux bornes des bobinages correspondent à un déplacement de la position stable du rotor. Une série bien déterminée de commutation de tensions entraîne un déplacement sur un nombre correspondant de pas.

La succession des configurations d'alimentation, à une fréquence donnée, impose un champ statorique tournant avec une résolution d'un micro pas, d'un demi pas ou d'un pas entier.

Il existe trois types de moteur pas à pas: les moteurs à aimants permanents et les moteurs à réluctance variable et les moteurs hybrides.

Nous verrons plus loin que les moteurs à aimants permanents se subdivisent également en deux catégories. Malgré les différences existant entre les moteurs, le résultat recherché est l'avance d'un seul pas, c'est-à-dire la rotation de leur axe suivant un angle déterminé à chaque impulsion que

l'une ou l'autre de leurs différentes bobines recevra. Cet angle, qui varie selon la constitution interne du moteur, est en général compris entre 0.9° et 90° .

Les moteurs les plus couramment rencontrés présentent des pas de :

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

Il est évident que les moteurs pas à pas, de par leur technologie, présentent une très grande précision et une durée de vie quasi illimitée, l'usure mécanique étant pratiquement inexistante (absence de frottements).

La (figure III.2) nous montre l'aspect externe d'un moteur pas à pas.



Figure 3.5 : Moteur pas à pas.

- Sa structure interne est donnée comme suit :

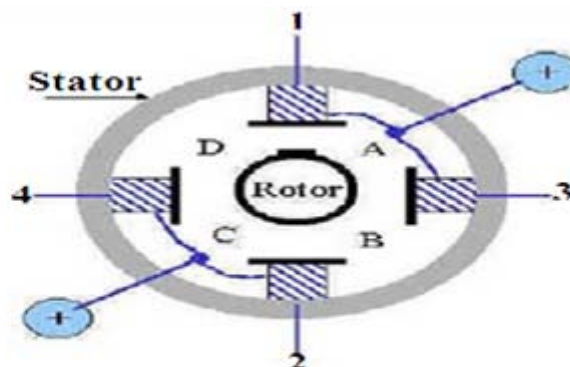


Figure 3.6 : Structure interne d'un moteur pas à pas.

Les moteurs pas à pas existent en différentes tailles qui varient de 1 cm à plus d'une dizaine de centimètres. Tout dépendra des applications dans lesquelles ils seront utilisés.

Le plus petit moteur, par exemple, sera destiné au déplacement des têtes de lecture dans les lecteurs de disquettes ou dans les disques durs où un couple très faible est requis. Par contre, le déplacement d'un bras de robot demandera un couple nettement plus important, donc un moteur de diamètre élevé.

Signalons que le couple est exprimé le plus souvent en kilogrammes par centimètre (Kg/cm), ce qui définit le poids en kilogrammes que pourra soulever l'axe d'un moteur pourvu d'un bras de longueur exprimée en centimètres.

La valeur de leur tension d'alimentation varie dans de grandes proportions, elle peut être comprise entre 3V et plusieurs dizaines de volts. De même, selon la résistance ohmique de leurs bobinages, le courant consommé s'étendra dans une gamme allant de quelques dizaines de milliampères à plusieurs ampères. Alors on peut dire que plus le courant sera élevé, plus le couple sera important.

En ce qui nous concerne, les détaillants commercialisent la plupart du temps, sauf exception rare, des moteurs de type standard, de consommation moyenne et possédant un couple de puissance relativement bas. Ce faible couple pourra être compensé par l'adjonction d'une démultiplication constituée de pignons.

La vitesse de rotation diminuera mais le couple augmentera dans de fortes proportions, ce qui constituera une solution intermédiaire étant donné le prix prohibitif des moteurs pas à pas de forte puissance.

Nous allons maintenant aborder plus en détail ce qui différencie chaque type de moteur, leur technologie et les principaux types de commande.

II.2. Les différents types de moteurs :

II.2.1. Les moteurs à aimants permanents (moteurs unipolaires et bipolaires) :

Les moteurs à aimants sont constitués d'un stator supportant les bobinages et d'un rotor magnétique (aimant bipolaire). Comme nous l'avons dit plus haut, cette catégorie de moteur se subdivise en deux types : Le moteur unipolaire et le moteur bipolaire.

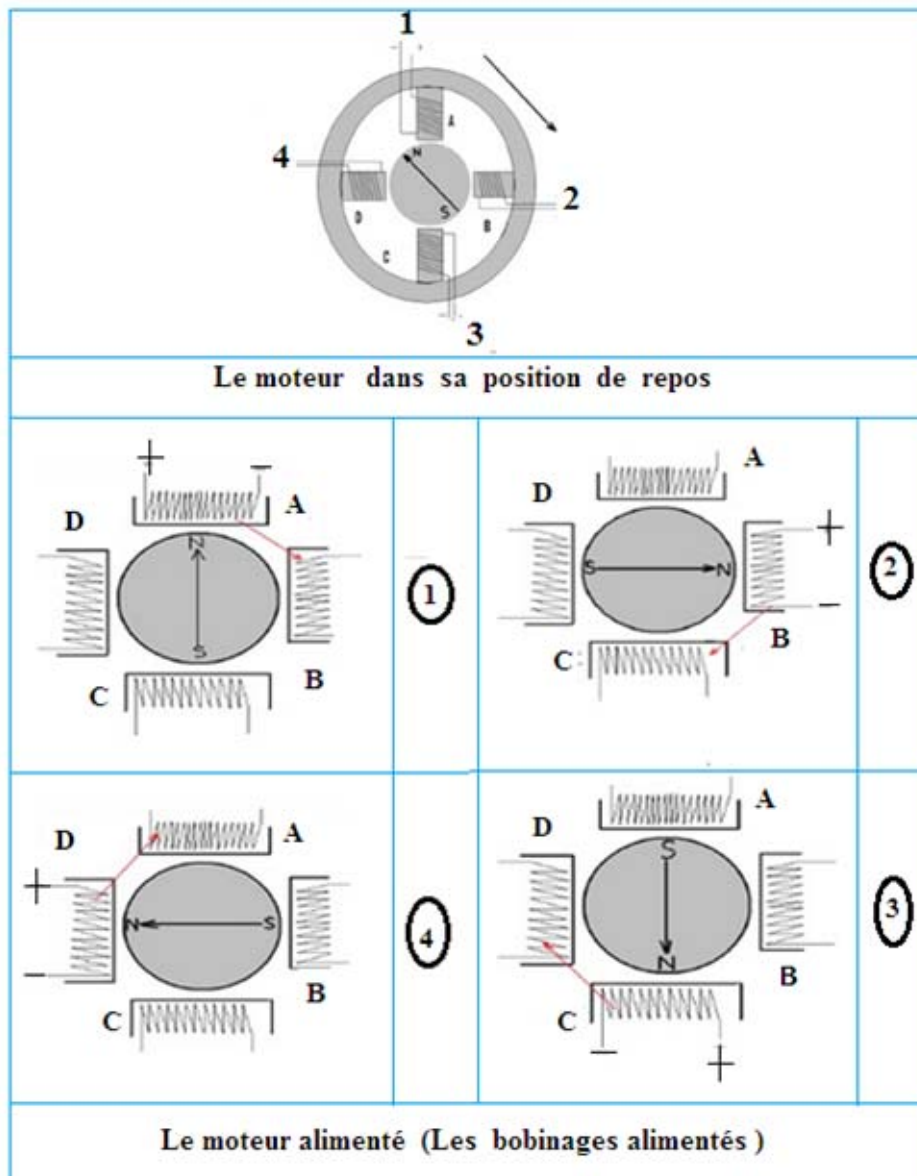


Figure 3.7 : Fonctionnement schématique d'un moteur pas à pas.

La Figure 3.7 représente le schéma simplifié d'un moteur à aimant. Le dessin du haut de la figure représente le moteur dans sa position de repos, lorsque les bobinages ne sont traversés par aucun courant. Chacun des pôles du rotor se place devant une paire des plots de stator.

Les quatre dessins du bas de la figure illustrent ce qui se passe lorsque les bobinages sont alimentés à tour de rôle:

D'abord **A** puis **B**, ensuite **C** et enfin **D**.

Le pôle nord du rotor sera attiré par le pôle sud du stator, pôle créé par la circulation d'un courant dans le bobinage. Cet exemple permet de comprendre la progression pas par pas du moteur. Ici, il effectuera 4 pas par tour

II.2.1.1. Les moteurs unipolaires :

Une représentation schématisée d'un moteur unipolaire est donnée à la Figure 3.8 afin d'inverser le sens du courant, les enroulements sont réalisés au moyen de deux fils dont l'une des extrémités est reliée au pôle + ou au pôle - de l'alimentation.

La commande de ce type de moteur est la plus simple de tous les moteurs pas à pas puisqu'il suffira d'alimenter les bobinages à tour de rôle pour faire tourner l'axe d'un pas. Le schéma de la (Figure III.6) résume la séquence la plus simple.

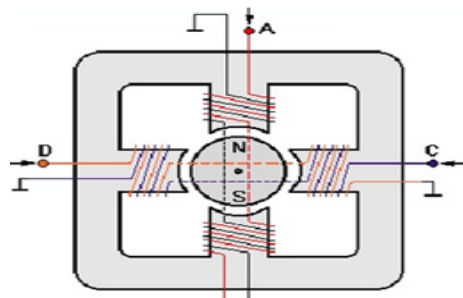


Figure 3.8 : Représentation schématique d'un moteur pas à pas.

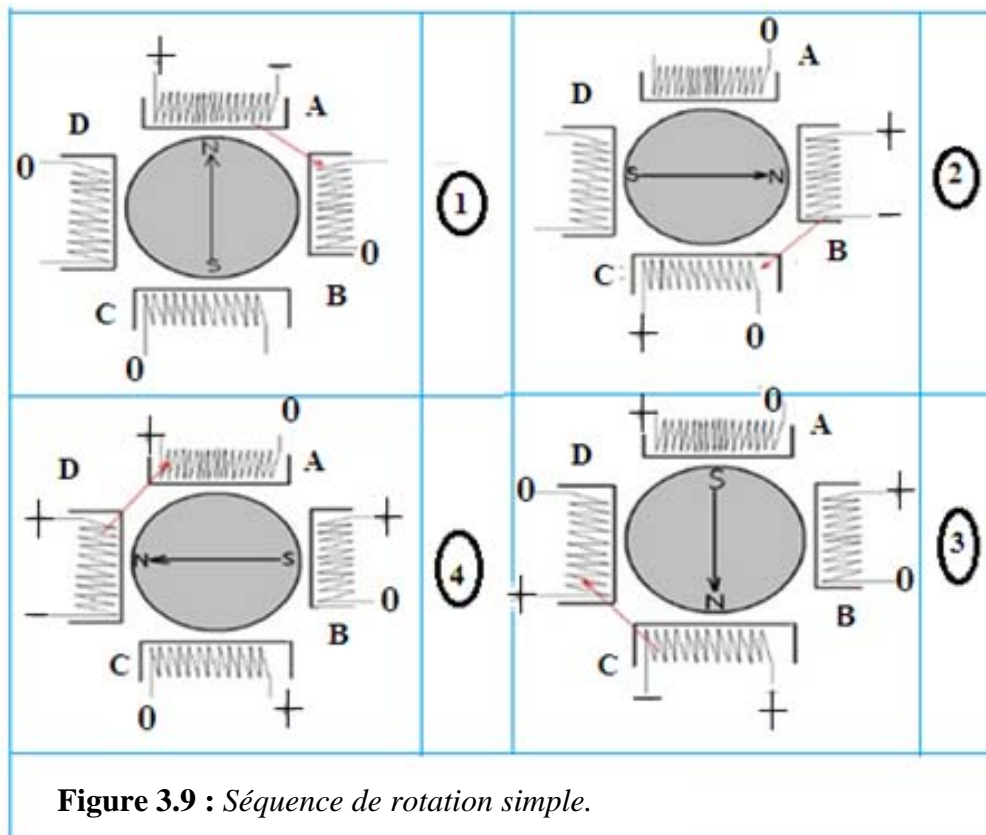


Figure 3.9 : Séquence de rotation simple.

Comme pour chaque type de moteur, le modèle unipolaire peut être commandé en mode monophasé, biphasé ou demi pas.

Mode monophasé	Mode biphasé	Mode demi pas
A	AB	A
B	BC	AB
C	CD	B
D	DA	BC
A	AB	C
etc.	etc.	CD
		D
		DA
		A
		AB
		etc.

Tableau III.1 : *L'ordre des différentes commandes.*

Tableau III.1 donne l'ordre des différentes commandes. Signalons que le moteur unipolaire présentera, à volume égal, un couple moins important que le moteur bipolaire.

II.2.1.2. Les moteurs bipolaires :

La Figure 3.10 représente la constitution interne d'un moteur de type bipolaire. Ce type de moteur nécessite une commande plus complexe que celle du moteur unipolaire, le courant devant changer de sens dans les enroulements à chaque pas effectué.

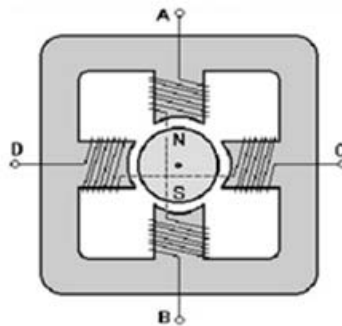


Figure 3.10 : *Représentation schématique d'un moteur bipolaire.*

Comme pour le modèle précédent, ce moteur peut être alimenté sous trois séquences différentes, le Tableau III.2 représente l'ordre des différentes commandes suivant le mode monophasé, biphasé ou demi-pas).

Mode monophasé	Mode biphasé	Mode demi pas
AB	AB-CD	AB
CD	BA-CD	AB-CD
BA	BA-DC	CD
DC	AB-DC	BA-CD
AB	AB-CD	BA
	Etc	BA-DC
		DC
		AB-DC
		AB
		Etc

Tableau III.2 : Ordre des différentes commandes suivant les différents modes de commande.

II.2.1.3. Commande des moteurs à aimants permanents :

Pour ce type de moteur nous avons trois possibilités de commande :

La première consiste à alimenter les enroulements en suivant la séquence A vers B / C vers D / B vers A / D vers C (BA est le même enroulement que AB mais alimenté par un courant de polarité inverse). Par la suite nous simplifierons la notation pour une meilleure correspondance avec les chronogrammes des phases en indiquant uniquement la phase qui est alimentée par un courant "positif".

Soit: A C B D. Cette séquence est connue sous le nom de "one phase on full step" (traduisez phase par phase ou une phase à la fois en pas entier). A tout moment il n'y a qu'une seule phase alimentée et nous travaillons en mode pas entier.

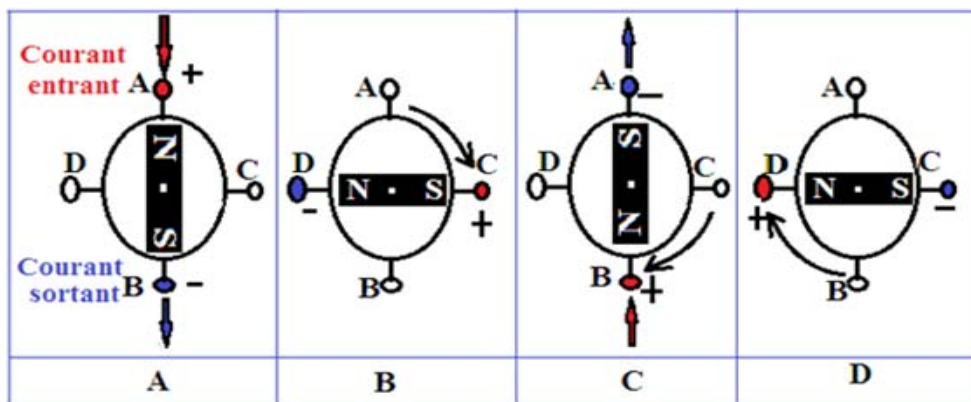


Figure 3.11 : Mode monophasé.

La seconde possibilité est d'alimenter une paire de phase en même temps de façon à ce que le rotor se positionne entre deux pôles. Appelé "two-phase-on full step" (deux phases à la fois en pas entier) ce mode de commande est celui qui procure le couple le plus élevé.

La séquence sera donc : AC / CB / BD / DA

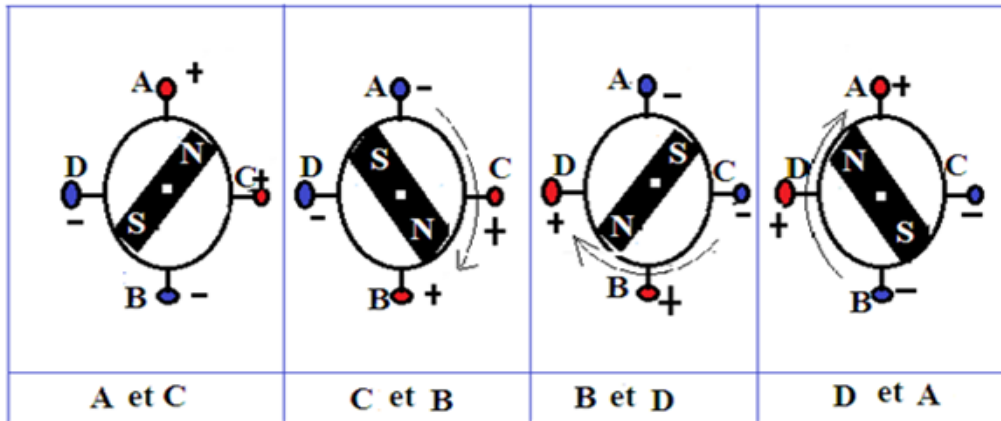


Figure 3.12: Mode biphasé.

La troisième option est un mélange des deux premières puisque l'on alimente tour à tour le moteur sur une phase puis deux puis une... Cette séquence connue sous le nom de mode demi pas procure effectivement une division par 2 de l'angle d'avance d'un pas, mais aussi un couple moins régulier.

La séquence qui en découle est la suivante : A / AC / C / CB / B / BD / D / DA .

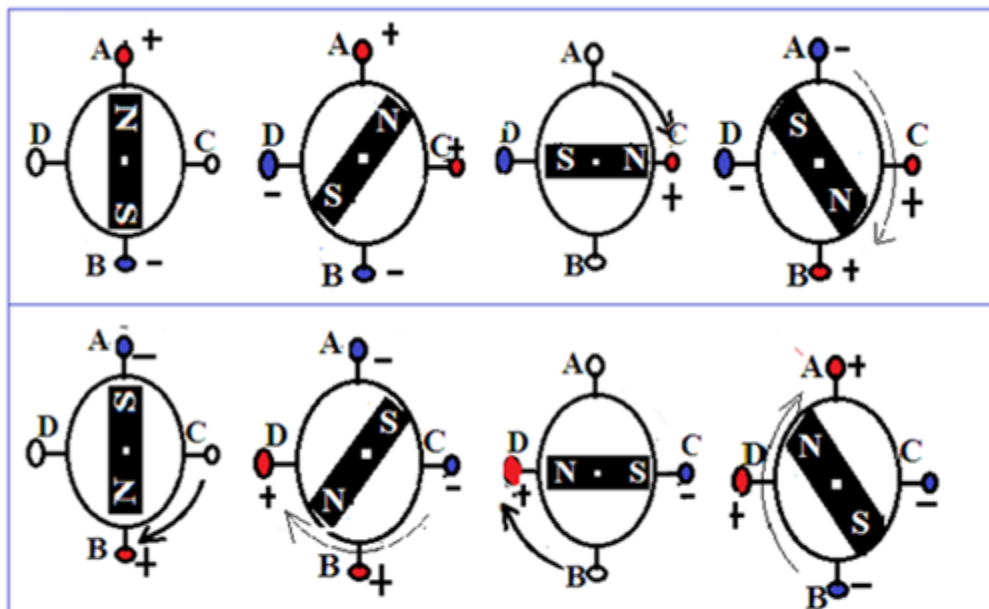


Figure 3.13 : Mode demi pas.

Mode demi pas pour obtenir une rotation dans la direction opposée les mêmes séquences sont utilisées en inversant l'ordre de défilement. Comme nous pouvons le constater sur les diagrammes, les moteurs sont représentés avec une avance de pas à 90° . Dans les moteurs réels le nombre de pôles ont été multipliés pour réduire à quelques degrés seulement l'angle d'avance d'un pas. Le nombre d'enroulements et la séquence de commande restant, quand à eux inchangés.

C'est dans le **mode biphasé** que le moteur développera la plus grande puissance (couple élevé) car les deux phases seront alimentées dans le même temps.

Le mode demi-pas permet de doubler le nombre de pas qu'un moteur peut effectuer par tour, mais cette précision supplémentaire engendre un couple irrégulier. En effet, dans ce mode, la commande du moteur est un mélange de mode biphasé et monophasé.

Dans ce cas, si la charge est importante, des pas risquent de sauter, ce qui n'est pas le but recherché.

Dans notre projet, nous avons utilisé deux moteurs pas à pas unipolaires de type 57SHM-46B6A, avec une résistance interne de 5Ω et un pas de 1.8° . C'est-à-dire pour faire un tour il faut 200 pas.

II.2.2. Les moteurs à réluctance variable:

Les moteurs à réluctance variable fonctionnent selon un principe différent de celui des moteurs à aimants permanents, Ils possèdent bien évidemment un stator et un rotor, mais ce dernier est fabriqué en acier doux non magnétique. Il n'est pas lisse et possède plusieurs dents.

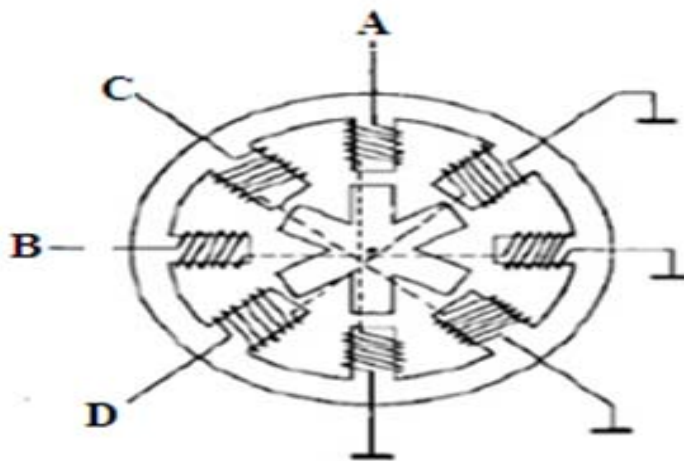


Figure 3.14 : Moteur à réluctance variable.

On peut voir, dans cet exemple, que le stator est composé de **8 pôles** sur lesquels sont enroulés les bobinages, ce qui donne **4 phases**. Le rotor, quant à lui, ne comporte que **6 dents**.

II.2.3. Les moteurs hybrides:

Le rotor comporte en périphérie des dentures polarisées par aimants. Le fonctionnement moteur est obtenu par deux effets : Effet de réluctance variable dû aux dents, Propriété des aimants permanents.

Ses principales caractéristiques sont :

- Bonne résolution (jusqu'à 400 pas par tour).
- Couple plus important que les moteurs à réluctance variable.
- Fréquence de commutation élevée.

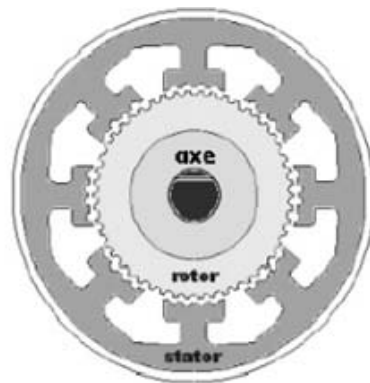


Figure 3.15 : Structure interne d'un moteur hybride.

II.3. Classification par Nombre de phase:

Il existe divers types de moteurs pas à pas mais la principale différence est le nombre de bobines utilisées.

Configuration interne des bobines du moteur :

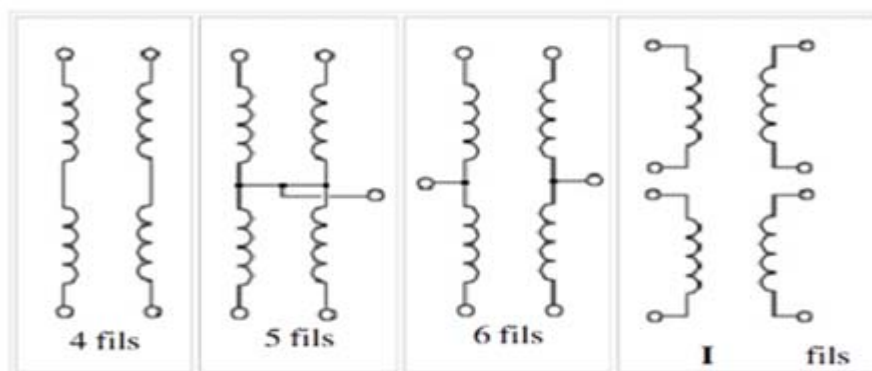


Figure 3.16 : Les moteurs à 4 fils (bipolaire).

II.3. 1. Les moteurs à 4 fils (bipolaires):

Bien que sur la (figure III.13), 4 bobines ont été représentées, ce moteur agit comme s'il ne possédait que 2 bobines. Ce moteur oblige d'alimenter soit une bobine à la fois, ou les deux en même temps. À tout moment, donc, le moteur a la moitié ou la totalité de ses bobines alimentées, ce qui a comme avantage de lui donner plus de force. Par contre, il est plus complexe de contrôler un moteur bipolaire, au niveau de l'interface de puissance, puis qu'il faut inverser la polarité de la bobine.

II.3. 2. Les moteurs à 5 fils (unipolaires):

Le moteur unipolaire est conçu de sorte que l'interface de puissance soit grandement simplifiée, mais au détriment de la force. Le moteur comporte en quelque sorte deux bobines à points centraux, ces derniers étant communs. Habituellement, on relie ces points centraux, et on applique l'alimentation à un des 4 autres fils. Il est toutefois possible d'ignorer les points centraux et de faire fonctionner le moteur unipolaire comme un moteur bipolaire, mais il faut être davantage rigoureux car contrairement au moteur bipolaire, ici les deux bobines sont capables d'interagir entre elles.

Par exemple, si on alimente une des deux bobines, et qu'on relie une borne de l'autre bobine à la masse, le courant se répartit maintenant dans trois demi-bobines, au lieu de deux demi-bobines pour le moteur bipolaire.

II.3. 3. Les moteurs à 6 fils:

Avec le moteur à 6 fils, on a alors réellement le choix de le contrôler comme un moteur bipolaire, ou comme un moteur unipolaire. Dans le premier cas, on ignore simplement les connexions centrales, et dans le second cas, on relie les deux points centraux à la masse, pour alimenter l'un après l'autre les 4 autres fils.

II.3. 4. Les moteurs à 8 fils :

Le moteur à 8 fils est celui qui permet le plus de flexibilité, quant au nombre de façons différentes de le contrôler.

III. Alimentation des moteurs pas à pas:**III.1. Alimentation unidirectionnelle et bidirectionnelle :**

Le moteur pas à pas peut être alimenté soit en courant soit en tension. On distingue deux cas, dans le premier cas le courant dans les phases est toujours dans le même sens (alimentation unidirectionnelle), il est valide pour les moteurs à réluctance variable qui ne sont pas sensibles au sens de courant, ainsi qu'avec certains moteurs à aimant, en particulier ceux qui sont munis d'enroulement bifilaire tandis que dans le deuxième cas, il faut à chaque fois inverser le sens

du courant (alimentation bidirectionnelle). Il est utilisé pour les machines à aimant ou hybrides munies d'enroulements simples.

III.2. Alimentation en tension :

Le Circuit de base de l'alimentation est le suivant :

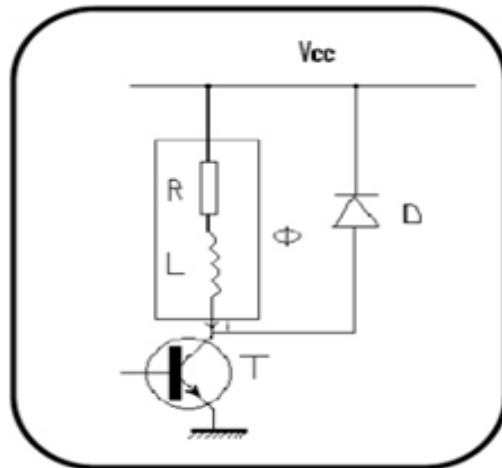


Figure 3.17 : Alimentation en tension unidirectionnelle.

III.3. Alimentation unidirectionnelle:

Le schéma pour phase \emptyset comporte une alimentation continue fixe V_{cc} , un interrupteur commandé (transistor bipolaire, montage Darlington ou transistor MOS) et une diode de roue libre (Figure III.14).

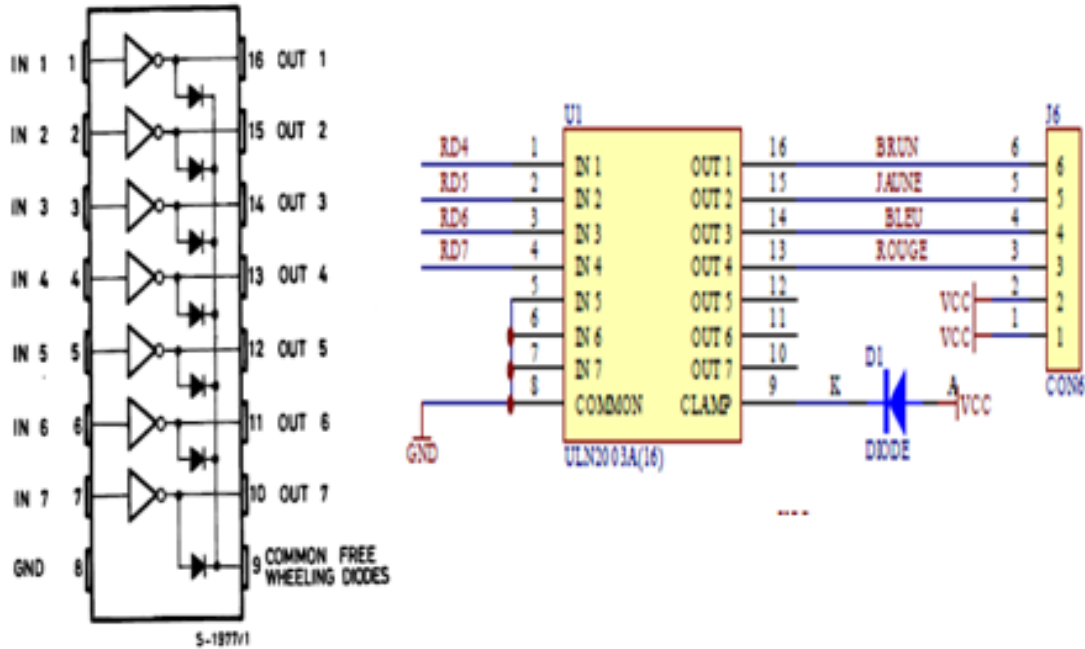
On considère tout d'abord que la force électromotrice de la rotation est négligeable. Le schéma équivalent de la phase se réduit alors à un dipôle RL série. Le séquenceur bloque le transistor lorsque la phase ne doit pas être alimentée et il le sature à l'instant de la commutation où doit apparaître le courant.

Le circuit étant inductif, la variation de l'intensité ne peut pas être discontinue.

La croissance est exponentielle, de constante de temps $\tau=R/L$.

Le moteur pas à pas ne pouvant pas être commandé directement par le PIC (à cause du fort courant dans les phases du moteur), on lui a ajouté un buffer de type **ULN2003**. Ce composant est en fait constitué de 7 buffers indépendants. Une diode de roue libre est présente directement dans le composant pour chaque buffer. De plus, ce composant est compatible TTL/CMOS en entrée et peut délivrer 500mA par buffer.

III.4. Etude de la carte utilisée :



Un niveau haut en entrée de l'ULN2003 ferme l'interrupteur.

Un niveau bas en entrée de l'ULN2003 ouvre l'interrupteur

La broche **RD4** de la carte de commande l'**interrupteur B**. (brun)

La broche **RD5** de la carte de commande l'**interrupteur D**. (jaune)

La broche **RD6** de la carte de commande l'**interrupteur C**. (bleu)

La broche **RD7** de la carte de commande l'**interrupteur A**. (rouge)

RD7 (fil rouge)	RD6 (fil bleu)	RD5 (fil jaune)	RD4 (fil brun)
1	0	0	0
0	1	0	0
0	0	1	0

Pour faire tourner le moteur dans un sens, il faudra appliquer successivement (et en boucle) les codes suivants (dans cet ordre) au port D : 0x80, 0x40, 0x10, 0x20

- Chaque nouveau code appliqué fait avancer d'un pas.
- Attention a ne pas perdre de pas ...
- Pour faire tourner le moteur dans l'autre sens :

On applique l'ordre suivant : 0x20, 0x10, 0x40, 0x80

IV .Régulation de la position (l'encodeur) :

IV.1. Capteurs de position :

Le défi des capteurs de position est l'acquisition de l'information sur la position et la vitesse des systèmes en mouvement ce qui met en avant la technique basée sur les phénomènes optiques

Les dispositifs de mesure et d'asservissement destinés aux entraînements réglés impliquent l'utilisation de systèmes de mesure capables de délivrer des valeurs de mesure à la fois pour l'asservissement de position et de vitesse ainsi que pour la commutation électronique

Quel que soit le type de la machine et d'alimentation associée, le principe d'autopilotage nécessite la synchronisation des grandeurs électriques d'alimentation avec la vitesse de rotation.

Les technologies utilisables passent par la mesure de la position du rotor qui peut être optique ou électromagnétique. Les codages envisageables peuvent être de type relatif ou absolu.

Exemple : L'implantation d'un capteur de position sur une machine tournante:

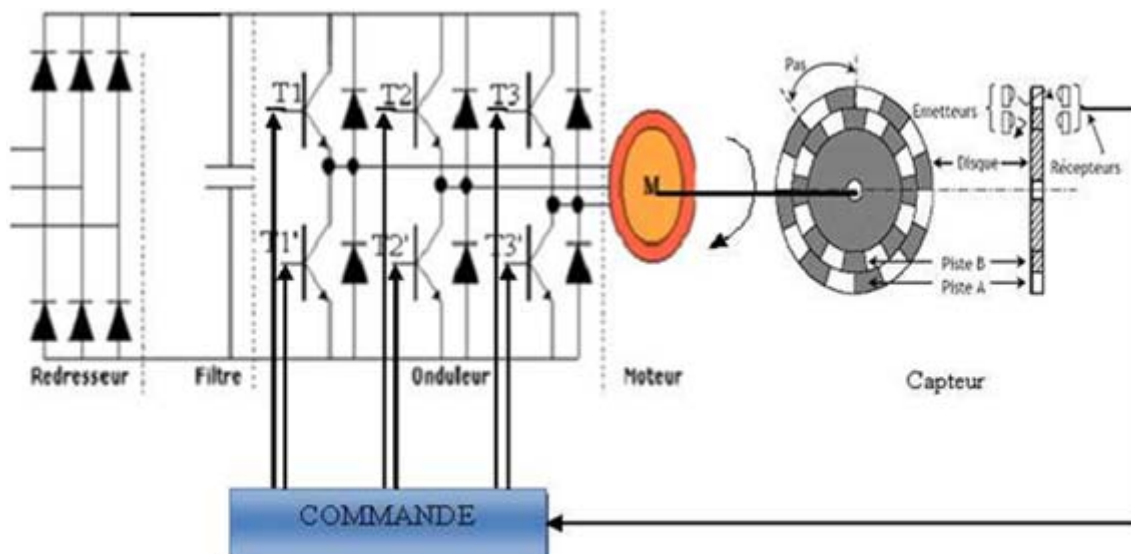


Figure 3.18 : Implémentation d'un capteur sur une machine tournante.

IV.2. Les codeurs optiques :

Un codeur optique rotatif est un capteur angulaire de position qui comporte un émetteur de lumière (LED), un récepteur photosensible, et un disque lié mécaniquement par son axe à l'organe à contrôler de la machine, disque qui comporte une succession de zones opaques et transparentes.

La lumière émise par des LED arrive sur des photodiodes chaque fois qu'elle traverse les zones transparentes du disque.

Les photodiodes génèrent alors un signal électrique qui est amplifié puis converti en signal carré, avant d'être transmis vers un système de traitement. Lorsque le disque tourne, le signal de sortie du codeur est alors constitué d'une suite de signaux carrés.

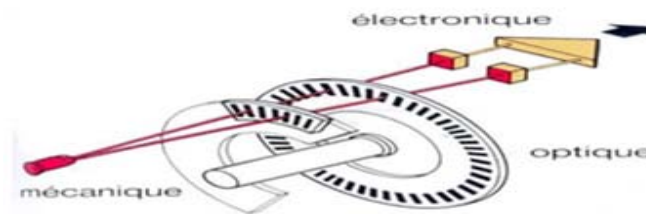


Figure 3.19 : Image illustrative d'un codeur incrémental.

La rotation d'un disque gradué en fonction du déplacement de l'objet à contrôler, génère des impulsions toutes semblables en sortie d'un capteur optique.

La résolution c'est-à-dire le nombre d'impulsions par tour, correspond au nombre de graduations sur le disque ou à un multiple de celui-ci. Plus le nombre de points est important plus le nombre de mesures par tour permettra une division plus fine du déplacement ou de la vitesse du mobile reliée au codeur

Il existe deux types de codeurs optiques : « incrémental » et « absolu » :

IV.2. 1. Codeurs incrémentaux :

Les codeurs incrémentaux sont destinés à des applications de positionnement et de contrôle de déplacement d'un mobile par comptage/décomptage des impulsions qu'ils délivrent.

IV.2. 1. 1. Fonctionnement :

Le disque d'un codeur incrémental comporte deux types de pistes :

-Une piste extérieure (voies A et B) divisée en « n » intervalles d'angles égaux et alternativement opaques et transparents, « n » étant la résolution ou nombre de

périodes. Deux photodiodes décalées installées derrière cette piste délivrent des signaux carrés A et B chaque fois que le faisceau lumineux traverse une zone transparente.

Le déphasage de 90° électriques ($1/4$ de période) des signaux A et B définit le sens de rotation : dans un sens, le signal B est a 1 pendant le front montant de A, alors que dans l'autre sens, il est a 0.

-Une piste intérieure (piste Z) qui comporte une seule fenêtre transparente. Le signal Z, appelé

« Top zéro », de durée 90° électriques, est synchronisé avec les signaux A et B. Il définit une position de référence et permet la réinitialisation à chaque tour.

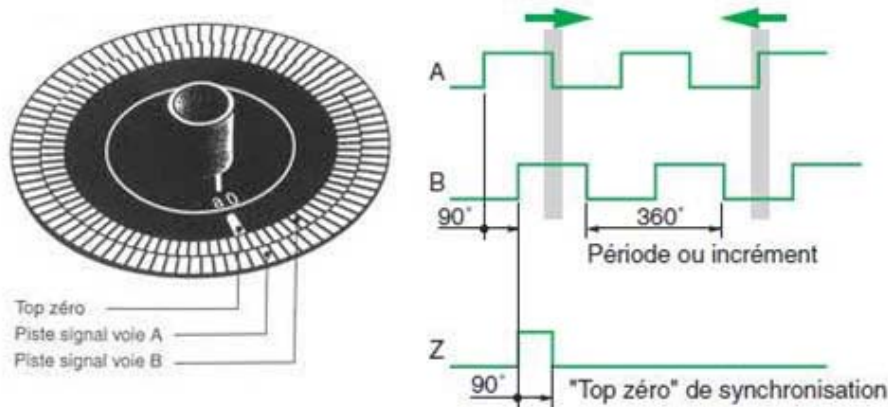


Figure 3.20 : *Vu d'un disque gradué de codeur incrémental et principe de détection du sens de rotation du « Top zéro » et les signaux sur chaque piste.*

IV.2.1.2. Avantages et inconvénients :

➤ Avantages

- Exécutions relativement robustes possibles.
- Large choix de résolutions, formes et interfaces.
- Très grande résolution possible.
- Montage sur un moteur possible

➤ Inconvénients

-Il est sensible aux coupures du réseau : chaque coupure du courant peut faire perdre la position réelle du mobile à l'unité de traitement. Il faudra alors procéder à la réinitialisation du système automatisé.

-Il est sensible aux parasites en ligne, un parasite peut être comptabilisé par le système de traitement comme une impulsion délivrée par le codeur.

-Les fréquences des signaux A et B étant généralement élevées, il faudra vérifier que le système de traitement est assez rapide pour prendre en compte tous les incréments (impulsions) délivrés par le codeur. Le non comptage d'une impulsion induit une erreur de position qui ne peut être corrigée que par la lecture du « top zéro ».

IV.2.2. Codeurs absolus :

Les codeurs absolus sont destinés à des applications de contrôle de déplacement et de positionnement d'un mobile rotatifs, ils fonctionnent de manière similaire aux capteurs incrémentaux mais s'en distinguent par la nature du disque

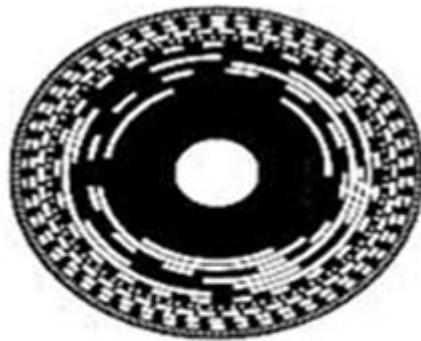


Figure 3.21 : *Exemple d'un codeur incrémental.*

IV.2.2.1. Fonctionnement :

Le disque des codeurs absolus comporte un nombre « n » de pistes concentriques divisées en segments égaux alternativement opaques et transparents. A chaque piste est associé un couple (émetteur / récepteur) optique. Chaque piste a donc son propre système de lecture. La piste intérieure est composée d'une moitié opaque et d'une moitié transparente. La lecture de cette piste (« bit de poids le plus fort »), MSB = Most Significant Bit, permet de déterminer dans quel demi-tour on se situe.

La piste suivante est divisée en quatre quarts alternativement opaques et transparents. La lecture de cette piste combinée avec la lecture de la piste précédente permet alors de déterminer dans quel quart de tour ($1/4$) on se situe.

Les pistes suivantes permettent successivement de déterminer dans quel huitième de tour ($1/8$), seizième de tour ($1/16$), ... etc... on se situe.

La piste extérieure donne la précision finale et est appelée LSB = Least Significant Bit (bit de poids le plus faible). Cette piste comporte 2^n points correspondant à la résolution du codeur.

Pour chaque position angulaire de l'axe, le disque fournit un « code binaire » de longueur

« n » correspondant à $\frac{1}{2^n}$ nième de tour.

IV.2.2.2. Mode de codage :

Le nombre de sorties parallèles est le même que le nombre de bits ou de pistes sur le disque. Deux types de codes utilisés « **Le code binaire pur et Le code Gray** » :

1) Le code binaire pur :

Permet d'effectuer les 4 opérations arithmétiques sur des nombres exprimés dans ce code. Il est donc directement exploitable par les systèmes de traitement (API) pour effectuer des calculs.

Mais il présente l'inconvénient d'avoir plusieurs bits qui changent d'état entre deux positions ce que provoquent des aléas de lecture. Pour lever ces aléas les codeurs absolus génèrent un signal d'inhibition qui bloque les sorties à chaque changement d'état.

2) Le code Gray :

Le code Gray dans lequel un seul bit à la fois change d'état évite aussi cette ambiguïté. Mais pour son exploitation par un automatisme, ce code doit être préalablement transcodé en binaire avant toute utilisation, d'où un traitement plus complexe.

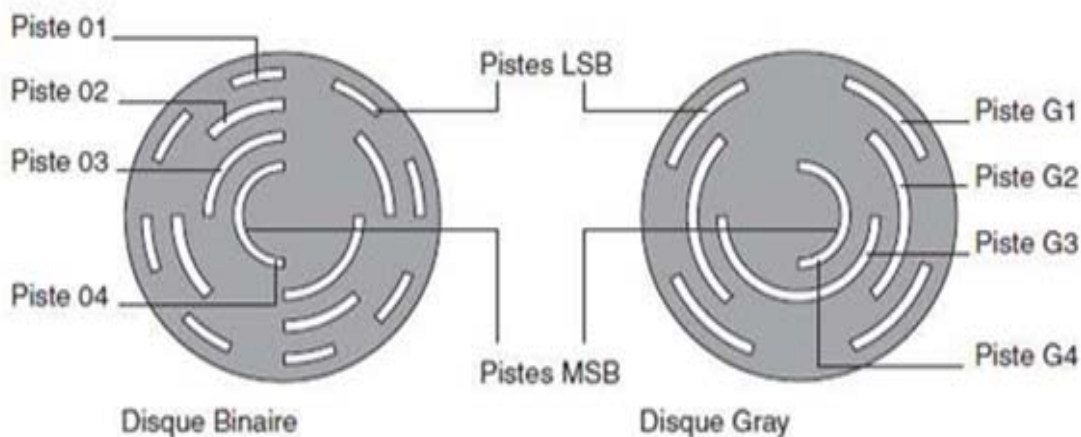


Figure 3.22 : Disque grave d'un codeur absolu.

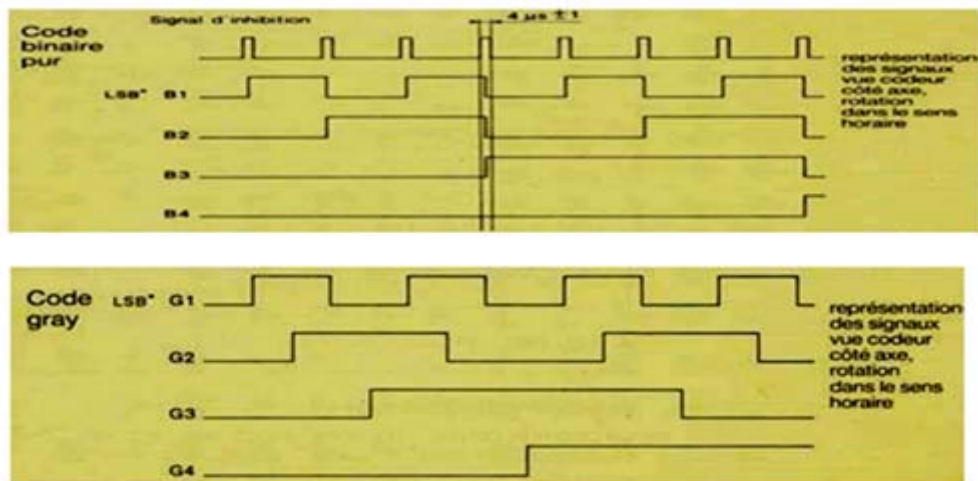


Figure 3.23 : Signaux de sorties délivrer par le codeur.

IV.2.2.3. Avantages et inconvénients :

❖ Avantages

-Il est insensible aux coupures du réseau : la position du mobile est détenue dans un code qui est envoyé en parallèle au système de traitement.

-L'information de position est donc disponible dès la mise sous tension.

-Si le système de traitement «saute» une information de position délivrée par le codeur, la position réelle du mobile ne sera pas perdue car elle restera valide à la lecture suivante.

❖ Inconvénients

-Il est de conception électrique et mécanique plus complexe aussi son coût sera plus élevé qu'un codeur incrémental.

-Les informations de position sont délivrées « en parallèle » ; son utilisation mobilisera donc un nombre important d'entrées du système de traitement (A.P.I. par exemple).

Introduction :

Ce chapitre décrit le principe du fonctionnement global, la mise en œuvre d'une chaîne d'acquisition et de commande, la conception et la réalisation d'un programme dans une unité de traitement capable de réaliser l'algorithme du fonctionnement global grâce au logiciel de simulation *LABVIEW* et une carte d'acquisition bien choisie.

I. Principe du fonctionnement :**I.1. Pilotage de la sonde:**

Notre sonde doit balayer une table de déposition de l'échantillon à analyser, sur les extrémités de cette sonde sont implantés quatre capteurs de fin de course (c1, c2, c3, c4) qui peuvent être des capteurs à contact pour indiquer que la sonde a atteint l'une des extrémités de la table, ces capteurs vont nous servir pour réaliser le balayage automatique de la table.

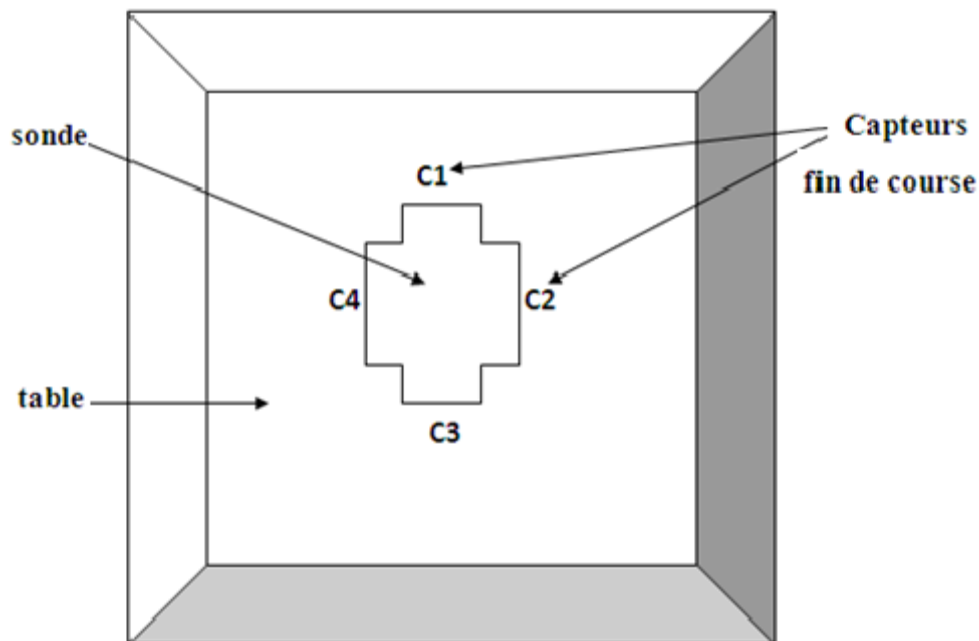


Figure 4.1 : pilotage de la sonde

La position de la sonde et son déplacement élémentaire suivant les deux axes x et y sont traduits et détectés par les deux encodeurs placés sur les moteurs.

L'acquisition du signal délivré par le capteur entraîné est faite à chaque déplacement élémentaire de la sonde afin de relever le courant image de chaque point de l'échantillon.

Après chaque pas élémentaires dans les deux directions la sonde, s'arrête pour permettre l'acquisition, conditionnement et l'enregistrement du courant image.

Les données image recueillies seront enregistrées sous forme d'une matrice exploitable par les différents domaines spécialisés.

I.2.Algorithme du fonctionnement global :

Afin de faciliter la compréhension de l'algorithme du fonctionnement on a modélisé notre système par le schéma suivant :

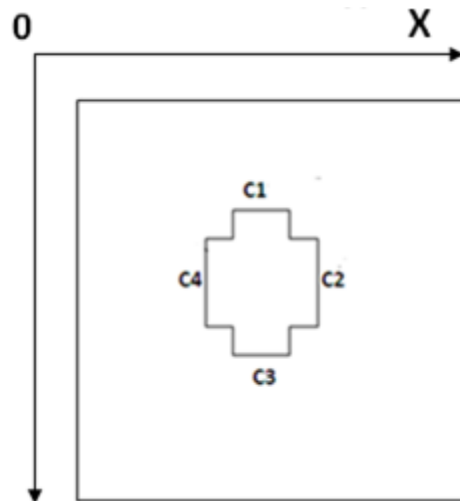


Figure 4.2 : *position des capteurs sur la sonde*

On allant de l'origine 0 la sonde va balayer l'axe des x pas à pas jusqu'à se que le capteur c2 s'active après dans le sens des y d'un seul pas y_0 puis celui de l'axe des x négatif jusqu'à se que c4 s'active et refaire le même cycle pour s'arrêter lorsque les deux capteurs c4 et c3 seront activés tout les deux.

Après chaque pas effectué par la sonde y a un temps d'arrêt afin de faire l'acquisition, conditionnement et enregistrement du courant image.

Voici l'organigramme à programmer afin de réaliser le cailler de charge :

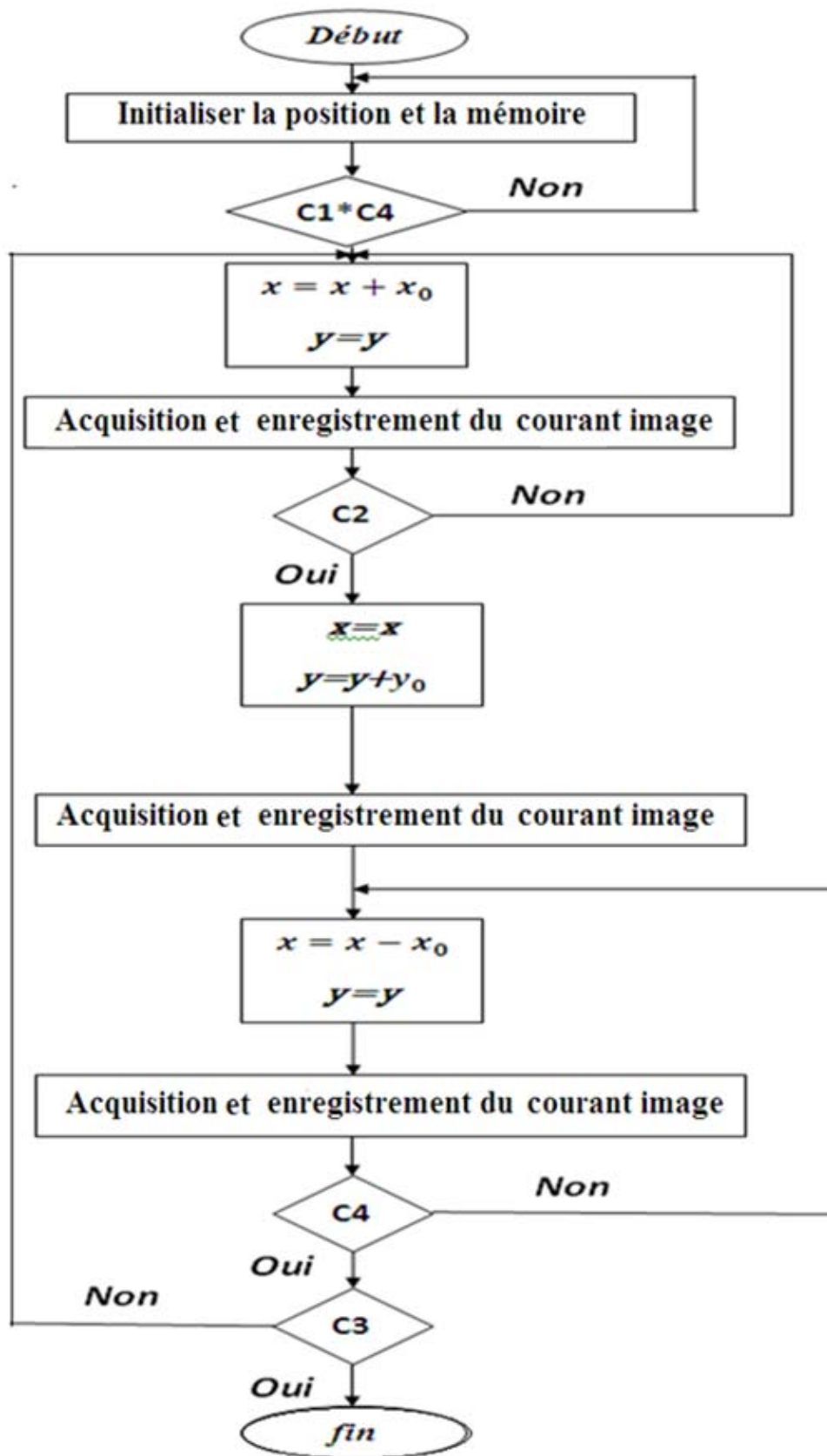


Figure 4.3 : L'organigramme proposé pour le cahier de charge

II. Description fonctionnelle de la chaîne d'acquisition et de l'unité de traitement de données :

Le cas le plus fréquent que l'on rencontre actuellement dans le champ d'application des capteurs, de l'acquisition, du traitement des signaux et de la commande est conforme au synoptique suivant (Figure 4.4).

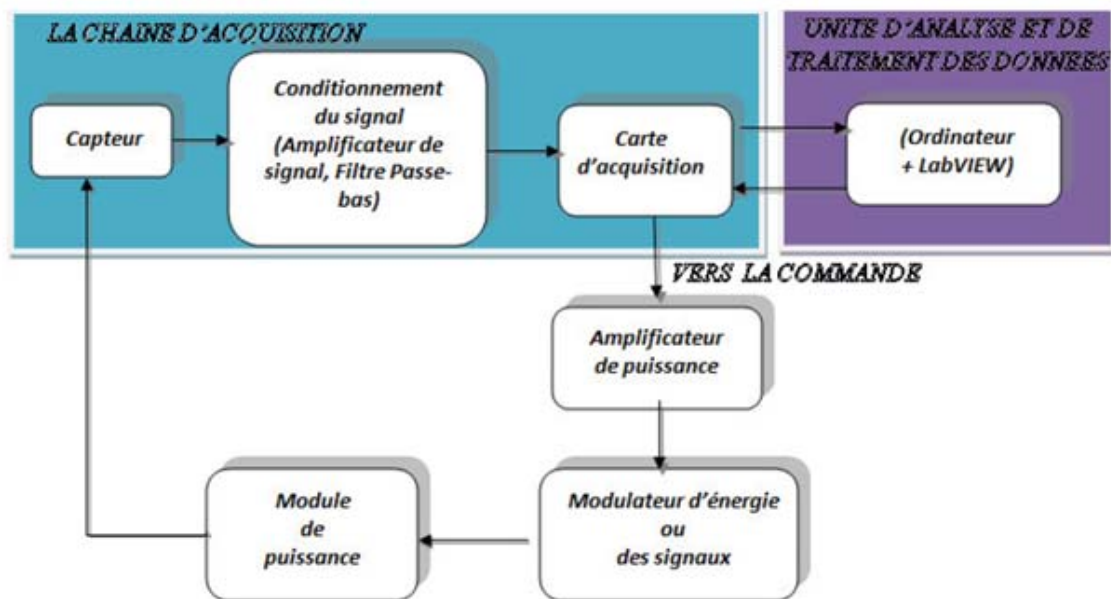


Figure 4.4 : Description fonctionnelle de la chaîne d'acquisition

Lorsqu'on veut contrôler un système ou un processus physique on doit, à un certain stade des opérations, mesurer et surveiller certaines grandeurs physiques dépendantes directement du procédé. Il est alors nécessaire de procéder à la vérification des résultats obtenus : il faut que les grandeurs mesurées restent dans une fourchette acceptable de valeurs dans le but d'assurer la bonne marche ou la qualité de l'ensemble des opérations.

L'organigramme de la figure (4.4) illustre, la procédure de mesure utilisée dans les différents modules réalisés : module Moteur pas à pas, module acquisition de l'information issue du capteur.

On présentera une étude détaillée de chaque module dans la suite de ce chapitre, on présente la description structurelle d'une chaîne d'acquisition.

II.1. Conditionnement du signal et acquisition de données :

Une chaîne d'acquisition recueille les informations nécessaires à la connaissance et au contrôle d'un procédé ; elle délivre ces informations sous une forme appropriée à leur exploitation.

II.2. Constitution de la chaîne d'acquisition :

Notre chaîne d'acquisition numérique peut se représenter selon la figure 4.5 :

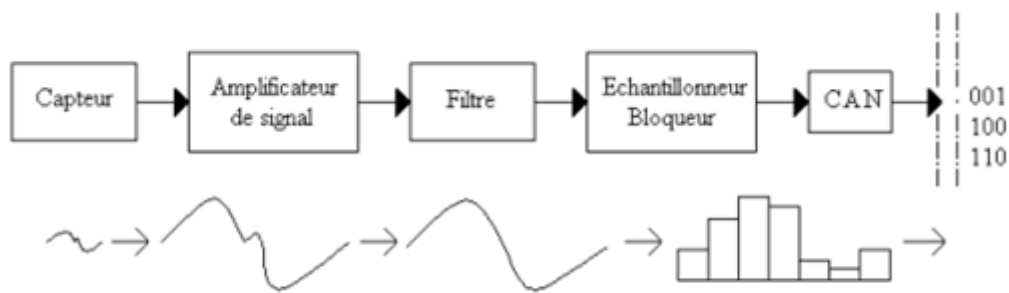


Figure 4.5 : *La chaîne d'acquisition numérique*

Elle est souvent associée à une chaîne de restitution (figure 4.6) :

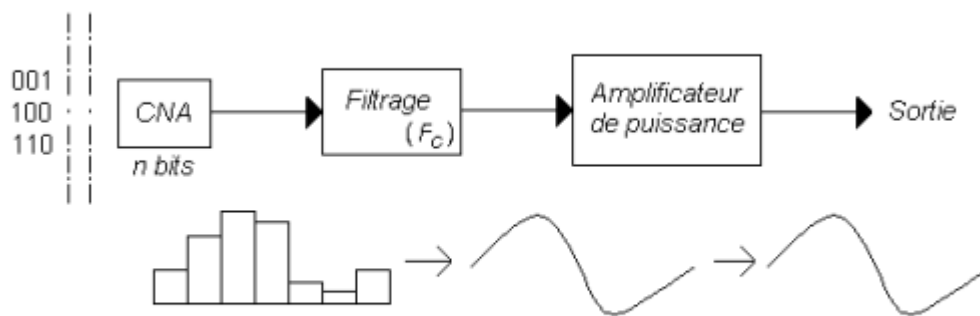


Figure 4.6 : *La chaîne de restitution*

On peut définir très simplement le rôle de chacun des éléments :

➤ **Le capteur :**

Il est l'interface entre le monde physique et le monde électrique. Il va délivrer un signal électrique image de la rugosité physique que l'on souhaite numériser. Il est toujours associé à un circuit de mise en forme.

➤ **L'Amplificateur de signal :**

Cette étape permet d'adapter le niveau du signal issu du capteur à la chaîne globale d'acquisition

➤ **Le filtre d'entrée :**

Ce filtre est communément appelé filtre anti-repliement. Son rôle est de limiter le contenu spectral du signal aux fréquences qui nous intéressent. Ainsi il élimine les parasites et le bruit de fond. C'est un filtre passe bas que l'on caractérise par sa fréquence de coupure et son ordre.

➤ **L'échantillonneur :**

Son rôle est de prélever à chaque période d'échantillonnage T_e la valeur du signal. On l'associe de manière quasi-systématique à un bloqueur. Le bloqueur va figer l'échantillon pendant le temps nécessaire à la conversion. Ainsi durant la phase de numérisation, la valeur de la tension de l'échantillon reste constante assurant une conversion aussi juste que possible. On parle d'échantillonneur-bloqueur.

➤ **Le convertisseur analogique numérique (CAN) :**

Il transforme la tension de l'échantillon (analogique) en un code binaire (numérique).

➤ **Le stockage :**

Il peut être un support de traitement (DSP, ordinateur), un élément de sauvegarde (RAM, Disque dur) ou encore une transmission vers un récepteur situé plus loin.

➤ **Le convertisseur numérique analogique (CNA) :**

Il effectue l'opération inverse du CAN, il assure le passage du numérique vers l'analogique en restituant une tension proportionnelle au code numérique.

➤ **Le filtre de sortie :**

Son rôle est de « lisser » le signal de sortie pour ne restituer que le signal utile. Il a les mêmes caractéristiques que le filtre d'entrée.

➤ **L'amplificateur de puissance de sortie:**

Il adapte la sortie du filtre à la charge.

III. Choix de la carte d'acquisition :

Le module "LabJack U3-LV" est un dispositif d'acquisition de données professionnel à connexion USB. Doté de 16 "E/S", il se prêtera à de multiples applications dans le domaine de la mesure embarquée, de la recherche, de l'Education Nationale, etc... Le dessus du boîtier laisse apparaître des borniers à vis dédiés à la récupération des 8 premiers "E/S", tandis qu'à l'arrière une prise sub-D 15 broches vous permettra de récupérer le reste des signaux. Livrés avec de nombreux programmes de commande ainsi que des exemples de codes sources pour la plupart des langages, il pourra être très facilement et rapidement mis en œuvre au sein de vos applications.

Le DB15 contient 8 (EIO) branches qui peuvent être configurées comme entrée analogique, entrée numérique, sortie numérique, comme les (FIO) et 4 branche digital (CIO).

les quatre premières pins sont configurées par défaut comme entrée analogique (FIO0..FIO3).

La branche Vs est une sortie qui fournit un potentiel de 5 volts provenant du câble USB.

Les VS de la carte sont tous les mêmes.



Figure 4.7 : module labjack U3-LV

IV. Caractéristique de la carte d'acquisition :

- 16port E/S entièrement configurable en entrée/sortie tout ou rien ou entrée analogique de conversion analogique numérique de résolution de 12 bits 0 -2.4V ou 0 3.6V
- A noter qu'une version spéciale de ce boîtier a ses quatre premiers ports port équipé pour pouvoir recevoir des tensions plus ou moins 10V ou de -10/20 Volts.
- Parmi les ports, 2 peuvent être configurés en timer (pulse Timing, PMW output, quadrature input).
- 1 à 2 (DAC) sortie analogique (0 -5V/ résolution 10 bits).
- Possibilité d'utiliser certains ports pour gérer un bus I2C, SPI et protocole séries asynchrone (mètre seulement).
- Support durée d'acquisition logiciel et matériel.
- Temps de réaction de commande < milli-second.
- Interface USB 2.0/1.1 full speed.
- Aucune alimentation externe nécessaire (auto alimentation via le port USB).
- Drivers pour Windows, Linux, Mac, Pocket pc.
- Ensemble de langage de programmation utiliser c, c++, LabVIEW, java.
- Conçu pour usage professionnelle.

Les autres caractéristiques de cette carte sont insérées dans La partie annexe de ce mémoire.

V. L'unité d'analyse et de traitement de données :**V.1. Logiciel de programmation utilisé, le LabVIEW :**

Depuis plus de 20 ans, le développement graphique de National Instrument LabVIEW révolutionne le développement d'applications modulaires de test, de mesure et de contrôle. Quelles que soient leurs années d'expérience, les ingénieurs et les scientifiques peuvent s'interfacer avec du matériel de mesure et contrôle, analyser des données, partager des résultats et distribuer des systèmes.

LabVIEW est un environnement de développement de programmation graphique, basé sur le langage de programmation G pour le contrôle et l'acquisition de données, l'analyse et la présentation de données.

La programmation graphique est le fait de programmer des applications avec des icônes reliées entre elles par des fils et sans faire appel à des lignes de texte comme dans les environnements de programmation traditionnels.

NI LabVIEW est l'exemple de logiciel de programmation graphique pour construire des systèmes de conception, de contrôle et de test à moindre coût. Pour réaliser une application sous LabVIEW, on commence par concevoir une interface utilisateur, on dessine son code graphique à l'aide d'icônes, on compile et on charge le code qui est alors terminé.

V.2. Les concepts de base de LabVIEW :

L'environnement LabVIEW propose donc un cadre de programmation graphique à flux de données enrichi de deux extensions : mémorisation et structures de programmation. Ce langage de programmation, appelé *langage G*, possède la même puissance d'expression que les langages impératifs textuels classiques.

V.2.1. Instrument virtuel :

On modélise un instrument de mesure par un programme de mesure. Ce programme est contrôlé par un ordinateur, cela conduit logiquement à la notion d'instrument virtuel (instrument réel simulé sur ordinateur).

Un instrument virtuel est un module de programme qui ressent une interface sous forme graphique pour l'apparenter à un instrument physique. Dans LabVIEW, les utilisateurs manipulent des instruments virtuels comme s'il s'agissait l'instrument réel. Une application, développée sous LabVIEW, est donc appelée *Instrument Virtuel (Virtual Instrument VI)*.

V.2.2. Les éléments d'une application LabVIEW :

Un programme ou VI, développé dans l'environnement LabVIEW, se compose principalement de deux éléments étroitement associés et regroupés sous le même nom.

Ainsi nous avons :

La « face-avant » qui représente le panneau de contrôle de l'instrument virtuel composé d'objets variés (boutons, indicateurs, graphes, etc.). Cette fenêtre est l'interface utilisateur du programme au sens génie logiciel : définition des entrées/sorties de données accessibles par l'utilisateur du programme.

En imitant l'interface classique des appareils de mesures (générateur, oscilloscope...), é apporte aussi une continuité pour les utilisateurs des appareils d'instrumentation.

La réalisation de cette interface peut être effectuée de manière indépendante par rapport au programme. Ainsi, le langage LabVIEW peut être utilisé comme un outil d'aide à la conception ou un outil de prototypage.

Le « diagramme » qui est le *programme* de l'application écrit sous la forme d'un diagramme à flux de données en langage *G*. C'est l'ensemble des icônes et des liaisons entre ces icônes utilisées. Le diagramme contient les fonctions de l'instrument virtuel.

Contrairement à la procédure qui consistait pour le technicien ou le scientifique à dessiner le schéma d'une application et ensuite à le convertir en un code propre au langage choisi, pour LabVIEW, le diagramme est le programme. Représenté en image, le programme s'explique de lui-même et est donc facile à adapter et à comprendre lorsque la représentation graphique garde une taille acceptable.

Une application LabVIEW ou VI est en fait un module logiciel que l'on peut soit exécuter, soit inclure dans une autre application. En effet, lorsqu'une partie de l'application est réalisée et testée, il est possible de créer un nouvel objet graphique ou icône qui représente alors une fonction bien définie par son interface utilisateur (variables en entrée/sortie et fonctionnalité).

Cette caractéristique montre que LabVIEW intègre le concept de programmation modulaire.

V.2.3. L'environnement de développement LabVIEW :

Au lancement du logiciel LabVIEW, nous obtenons deux fenêtres de travail qui peuvent être activées l'une après l'autre (figure 4.8). L'ensemble de ces deux fenêtres constitue l'Instrument Virtuel en création. Nous pouvons immédiatement noter la présence d'une barre des menus spécifiques à cet environnement et un ensemble de boutons, destinés à la gestion de l'exécution d'un instrument virtuel (Virtual Instrument, VI).

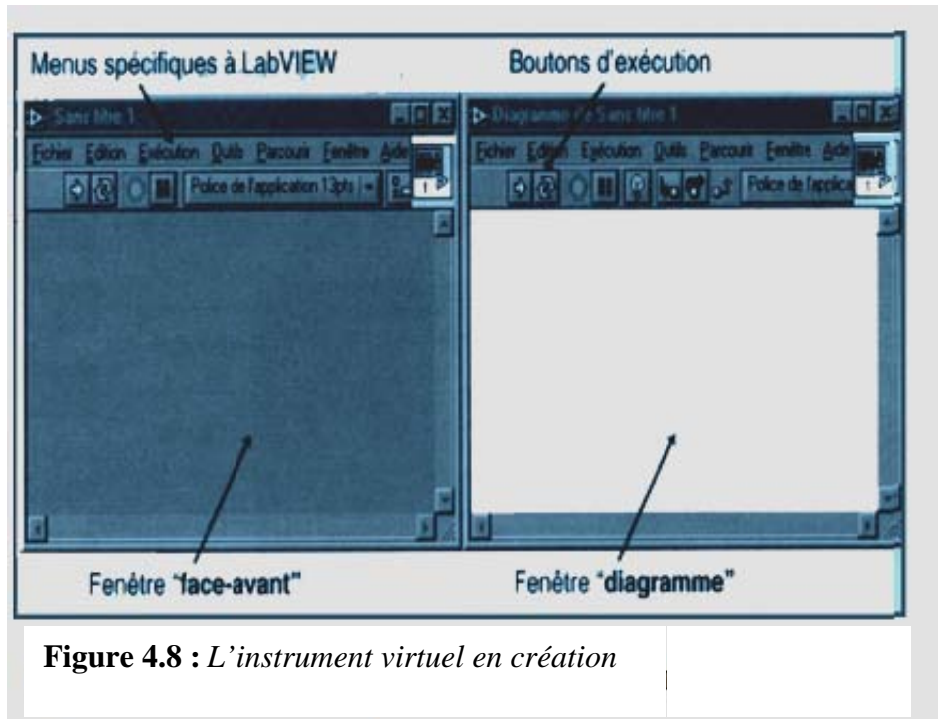


Figure 4.8 : L'instrument virtuel en création

La réalisation de la « **face-avant** » ou interface utilisateur du programme se fait à partir de la fenêtre ou palette des objets appelée « **Commandes** » qui sont uniquement accessible dans la fenêtre « **face-avant** ». Elle permet d'accéder à l'ensemble des objets représentant les entrées/sorties du programme

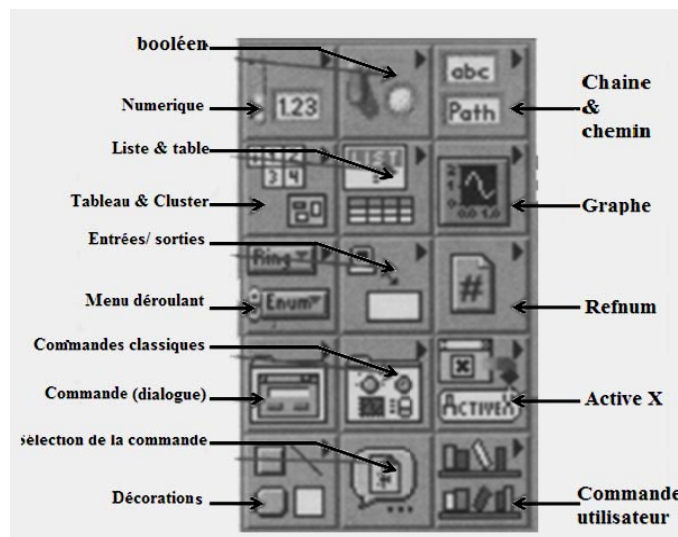


Figure 4.9: palette des objets d'entrées/sorties

Disponible dans la fenêtre face avant

La réalisation du «diagramme» ou programme se fait à partir de la fenêtre ou palette appelée «**Fonctions**» Cette palette est uniquement accessible dans la fenêtre «**diagramme**».

Elle permet d'accéder à l'ensemble des objets représentant les instructions ou fonctions du langage permettant de constituer le programme LabVIEW.

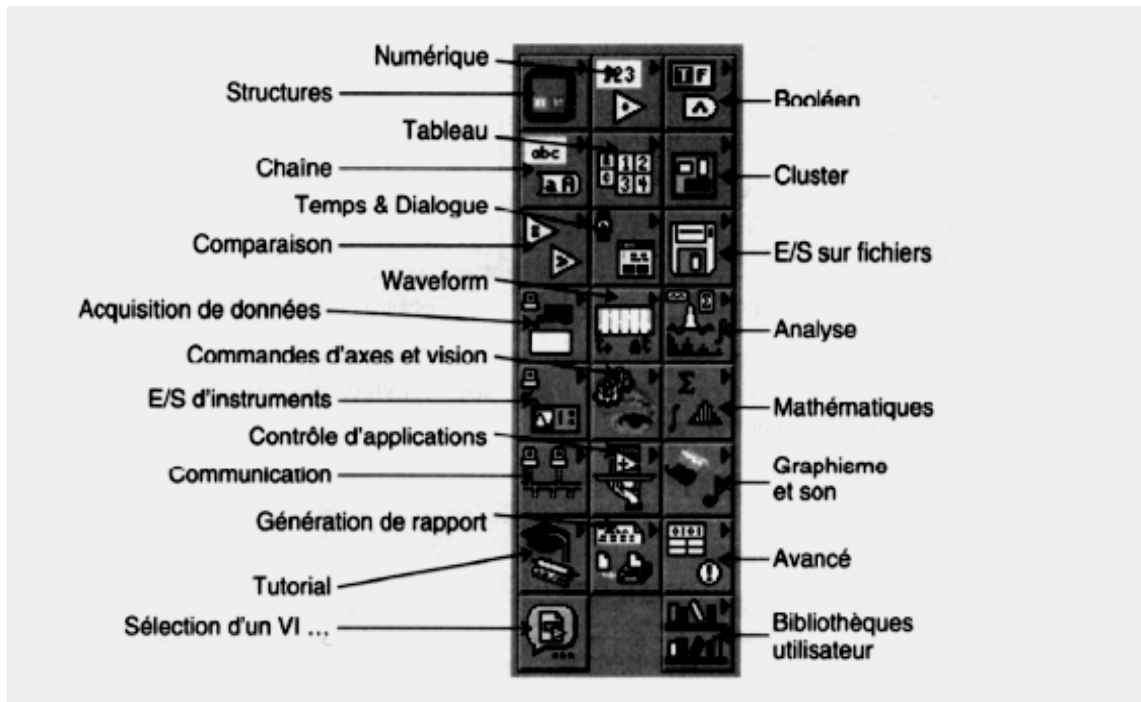


Figure 4.10 : Palette des fonctions disponible dans la fenêtre Diagramme d'un LABVIEW

Dans cette palette, nous trouvons en particulier toutes les fonctions permettant de mettre en place des applications de traitement des signaux et de l'acquisition de données. Soient, par exemple, les sous-palettes suivantes :

V.2.4.Acquisition de données :

Ce sous-menu offre toutes les fonctions pour gérer les entrées/sorties de type analogique ou numérique, les compteurs, pour étalonner et configurer les cartes et enfin pour faire du conditionnement de signaux.

VI. Commande et simulation :

L'objectif de ce modeste travail est d'assurer en terme de simulation la réalisation de l'algorithme cité précédemment donc on affaire aux modules suivant:

- Module acquisition de l'information des capteurs de position.

- Module acquisition et enregistrement du courant image sous forme de valeurs numériques rangées en matrice.
- module génération des impulsions de commande des deux moteurs pas à pas en demi pas en intercalant chaque demi pas de 1 autre d'un temps mort pour l'acquisition et enregistrement du courant image.

VI.1.Méthodologie de la mise en œuvre de la chaîne d'acquisition de données et de contrôle :

Les signaux intervenant dans cette application sont :

- Le signal d'entrée du capteur de position est un signal numérique de type tout ou rien et lentement variables (Décrit au chapitre 3).
- Le signal entrée image de la grandeur mesurée est un signal analogique lentement variable, de type continu. (Décrit au chapitre 2).
- Le signal de sortie de commande des moteurs est un signal numérique de type impulsion et rapidement variables .la caractéristique principale est liée à la fréquence ou à la durée des impulsions composants ce signal.



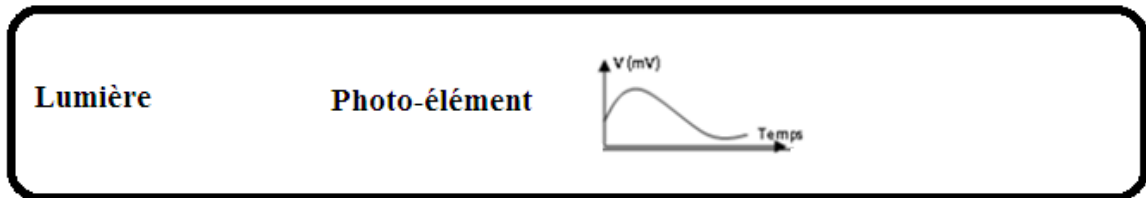
En ce qui concerne le signal de sortie numérique, on s'intéresse à la puissance maximale à fournir pour entraîner le moteur pas à pas. Cette donnée va caractériser la sortie au niveau de la tension et surtout du courant de sortie de la carte. Si nécessaire un amplificateur de puissance ou de courant sera ajouté à la carte pour pouvoir effectivement commander l'actionneur. En effet, l'amplificateur de puissance ajouté est caractérisé par le composant ou le circuit intégré ULN2003 du circuit de commande du moteur pas à pas (Décrit au chapitre 3).

VI.2.Analyse préalable :

Les questions concernant l'amplitude maximale du signal d'entrée à acquérir ainsi que la résolution de la conversion ont été traitées.

La tension d'entrée lue par le capteur appartient à la gamme de 0 à 5 V. Avec aucun recours à un conditionnement du signal, la variation minimale de tension détectable ou la précision du convertisseur est de 1,22mV.

Grandeur physique → Capteur → Signale électrique → Information utile



En conséquence, on schématise le processus selon la figure 4.11

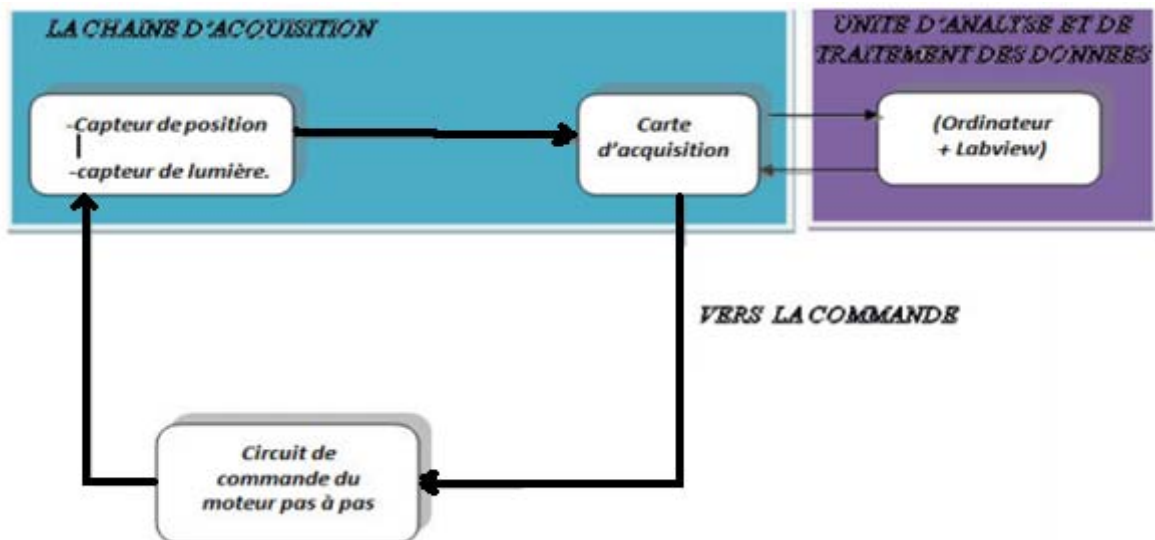


Figure 4.11 : Synoptique de commande.

VII. Réalisation et simulation des différents modules :

VII.1. Module acquisition de l'information des capteurs de position :

Le signal numérique issu des capteurs de position est acquis suivant deux entrées numériques de la carte d'acquisition. Cette lecture signale que l'un des moteurs à effectuer un pas et une acquisition du courant image issue du capteur de lumière doit avoir lieu.

Pour ce fait on s'est servi des deux entré numériques EIO-8 et EIO-9 pour l'acquisition de ces deux signaux.

Voire La Figure 4.12 ci-dessous le programme de simulation conçu pour la configuration des entrées de la labjack et la récupération de l'information qui détermine la réalisation d'un pas par l'un des deux moteur.

Les instructions à écrire pour la configuration sont sur la face avant elles sont bien expliqué sur le datasheet de notre carte d'acquisition inséré dans la partie annexe de ce mémoire.

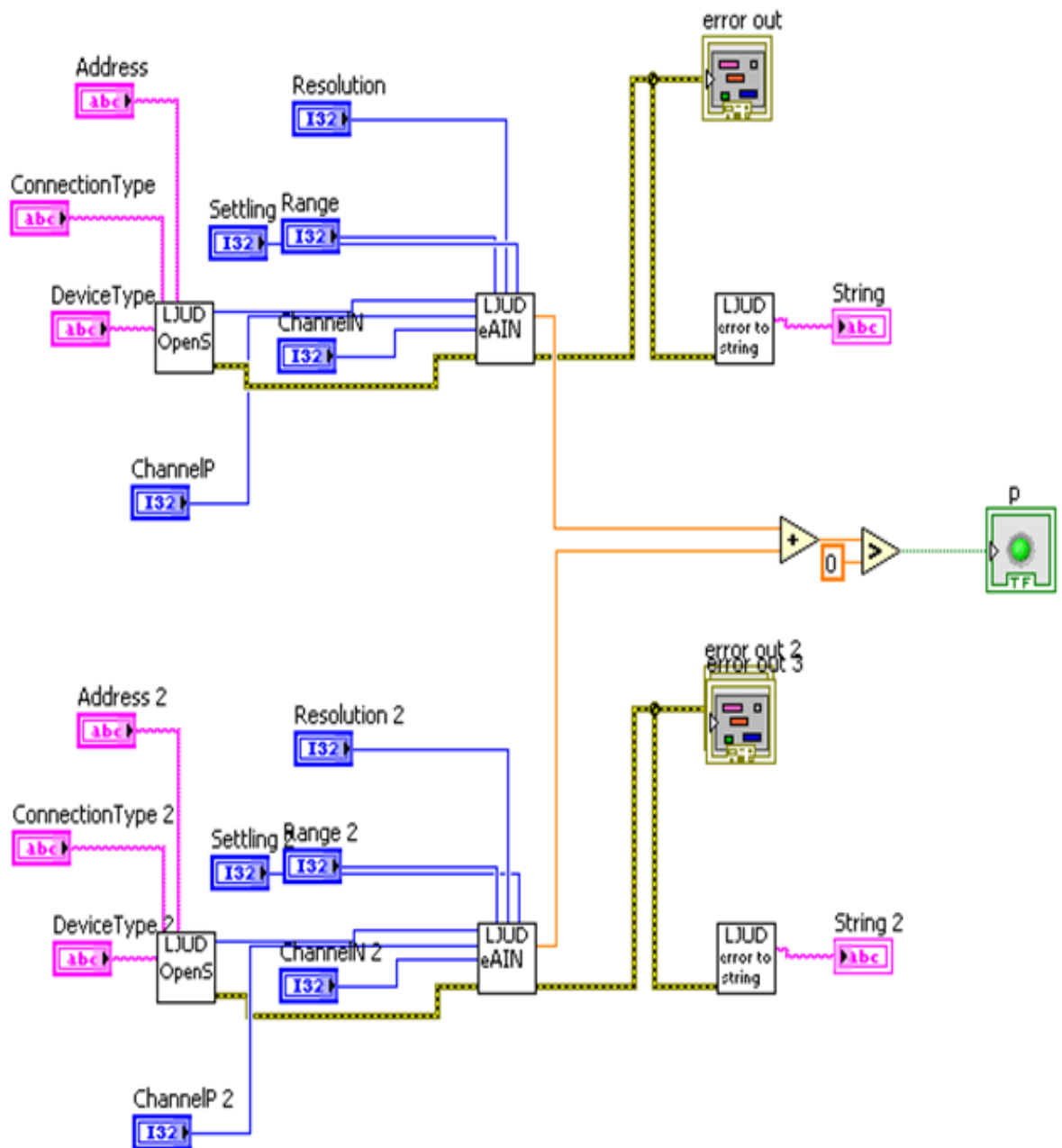


Figure 4.12 : Programme de simulation conçue pour la configuration des entrées de la LABJACK

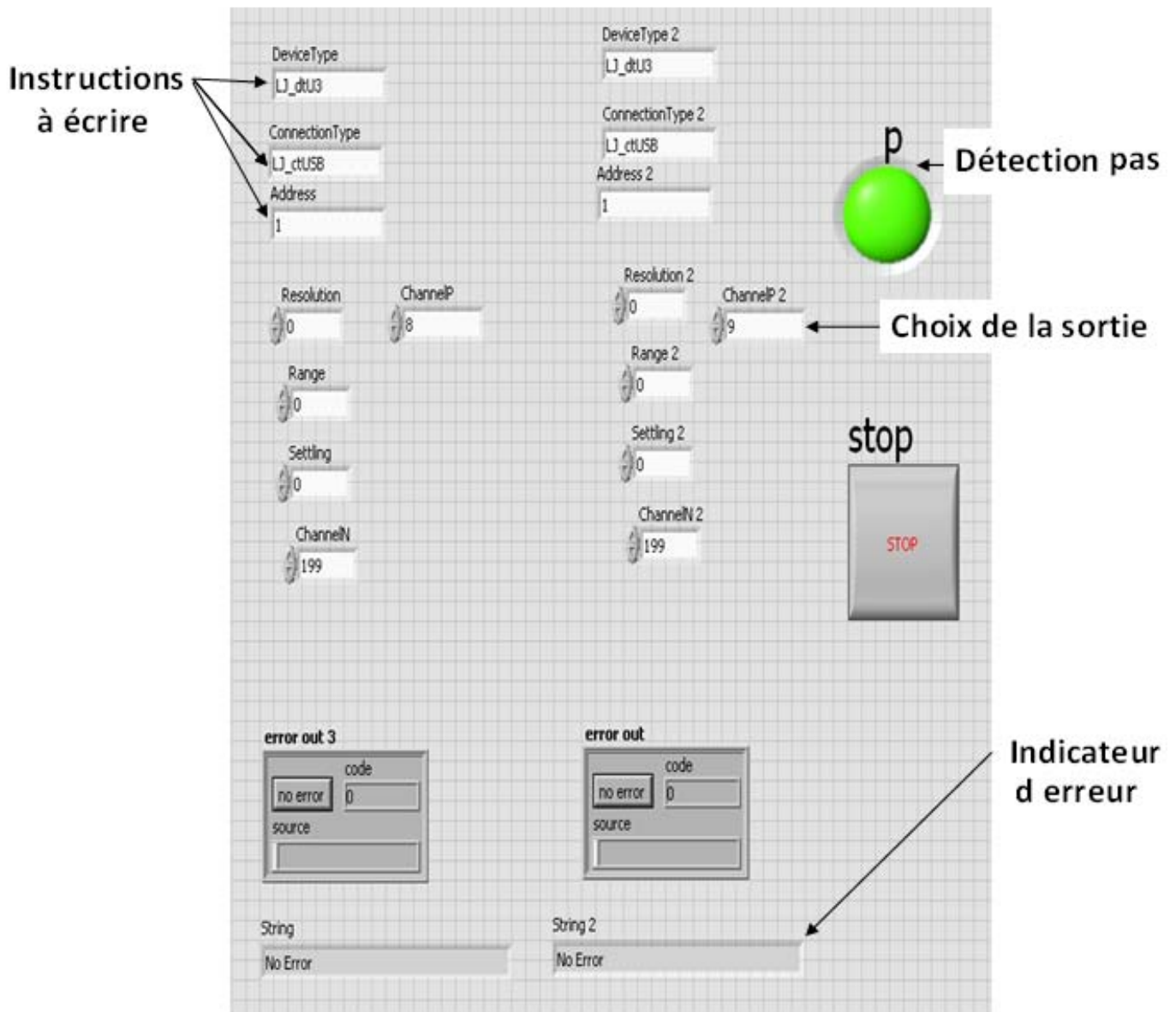


Figure 4.13 : Programme de configuration dans le bloc Diagramme

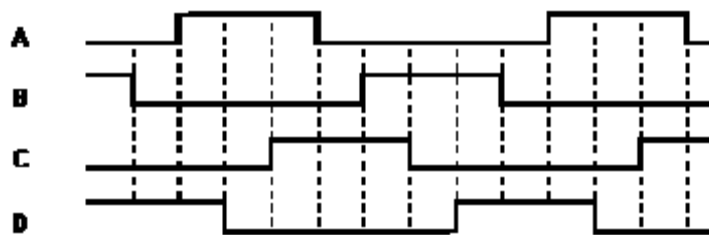
On voit bien qu’après la réalisation d’un pas la laid est allumé, l’information récupéré est transformée en une donnée booléen afin qu’elle soit utilisée pour le pilotage des deux moteur dans les modules qui suit.

Se programme est utilisé comme sous programme ou bien ce qu’on appel dans le langage de labiew un sous VI, pendant son exécution une donné qui est nommé P de nature booléen est récupéré lors ce que le pas est détecté P=1.

VII.2. Module génération des impulsions de commande des deux moteurs pas à pas en demi-pas :

Sur ce diagramme nous sommes en mode demi-pas (Half) et en sens horaire (CW). Les trois séquences de commande possibles sont extraites directement de cette séquence principale.

Le chronogramme des sorties en mode demi pas est visible ci-après :

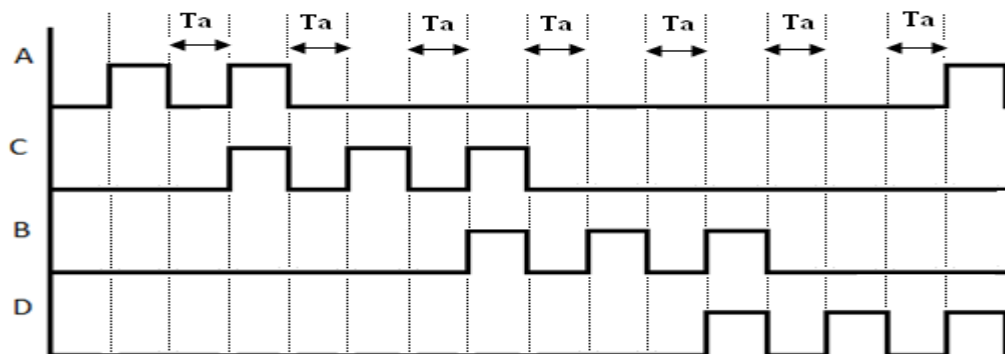


ê

notre études se pose comme objectif le pilotage de la sonde tout en laissant le choix du capteur a l'utilisateur du mécanisme donc tout dépend du temps de réponse du capteur utilisé. C'est pour cela qu' on a besoin d'intercaler les pas d'un temps T_a pour pouvoir récupérer le signal du capteur

T_a : supérieur ou égal au temps d'acquisition et l'enregistrement de l'information.

Le chronogramme signaux de commandes des moteurs dans notre cas doit tre comme



suiv

:

Figure IV.15 :Le chronogramme signaux de commandes des moteurs.

Pour ce fait quatre sorties seront utilisé pour la commande de chaque moteur :
 FIO0.....FIO-3 pour le moteur 1 attaquant respectivement les bobines A, B, C, D.
 FIO4.....FIO-7 pour le moteur 2 attaquant respectivement les bobines A, B, C, D.

VII.2.1.Programme de configuration d'une pine FIO en sortie :

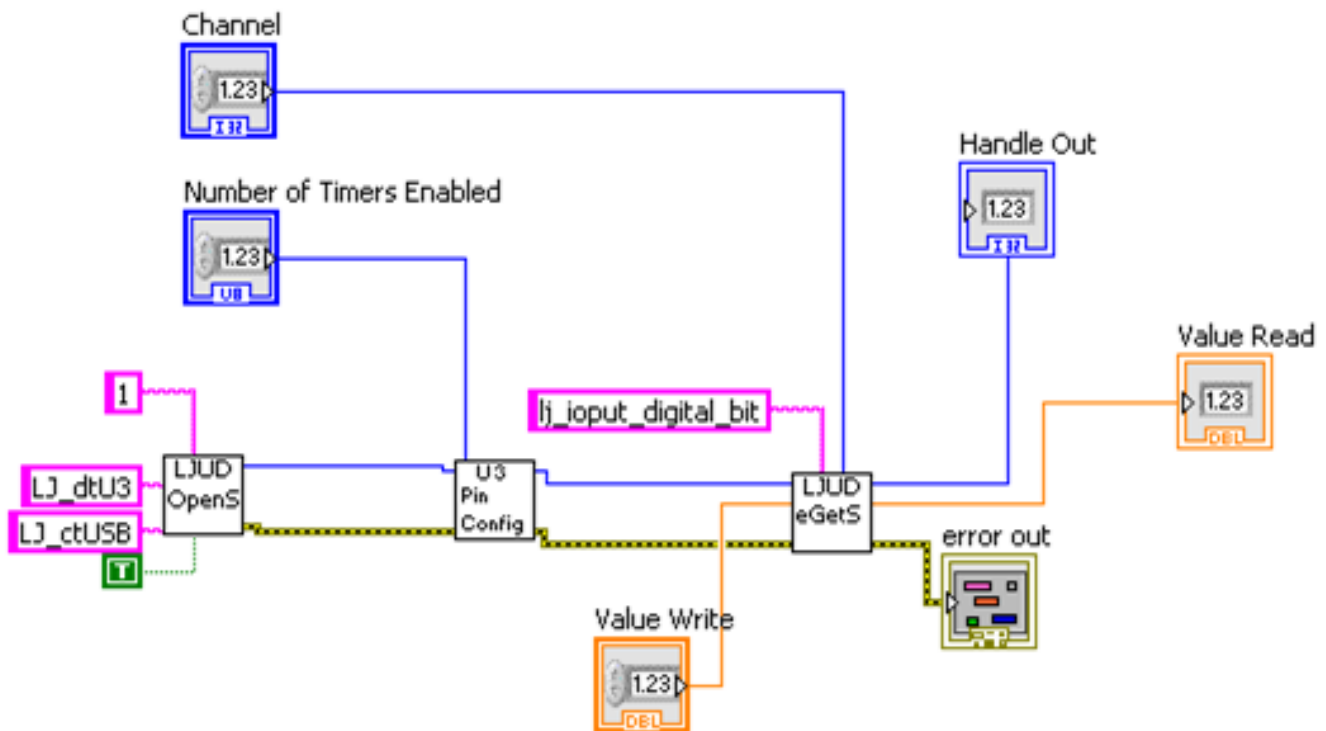


Figure 4.15 programme de configuration d'une pine FIO en sortie de la carte

Se programme est utilisé par suite comme sous VI afin de configuré rapidement les autre sorties dont il sufi de préciser quel sortie configuré sur la gamme FIO de notre carte

VII.2.2.Programme de génération d'impulsion:

Pour chaque phase ou bien sortie configuré on a simulé un programme similaire donc en tout sa nous fait huit programme pour les deux moteurs.

Voir ci-dessous le programme pour la génération d'impulsion pour Le moteur :

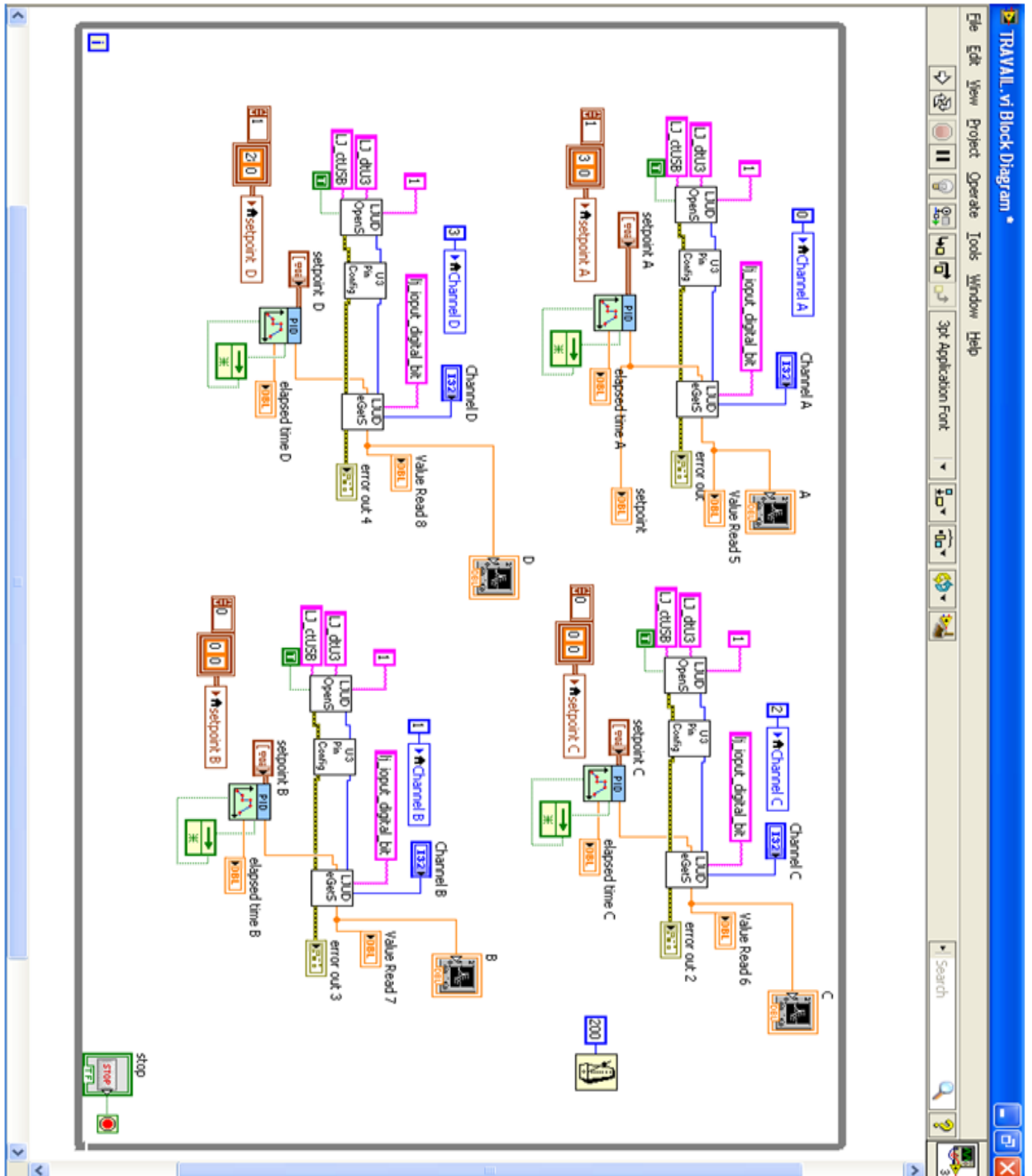


Figure 4.16 Programme de génération d'impulsion

➤ Voici les signaux générés par ce programme :

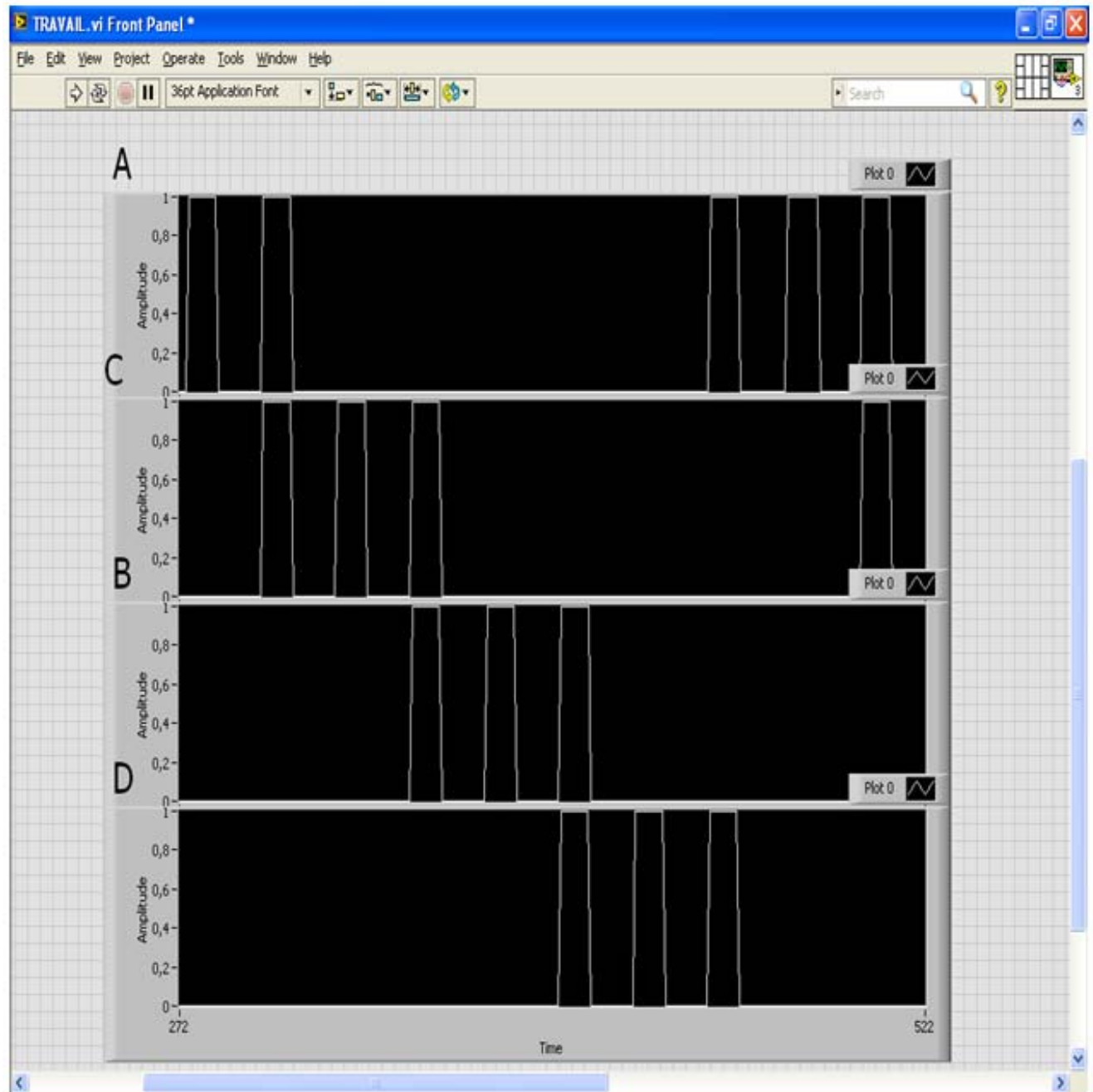


Figure 4.17 Signaux générés par le programme

On voit bien apparaître le temps d'acquisition qui intercale chaque demi-pas de l'autre.

VIII. Pilotage automatique de la sonde acquisition du courant image:

➤ **Programme pilote :**

Pour pouvoir effectuer un balayage automatique des moteurs on a modélisé le système et les directions de rotation des moteurs comme suit :

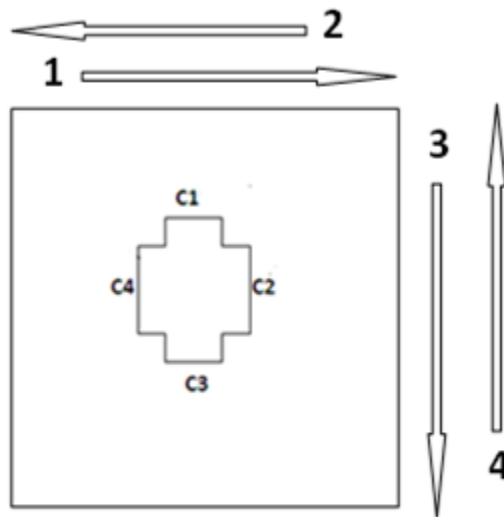


Figure 4.18 *Pilotage automatique de la sonde*

Tout en sachant que les deux moteurs ne doivent jamais se mettre en action à la foi, on a mis en œuvre un programme pour gérer cette contrainte.

Pour cela on a mis une table de vérité comme suit :

- 1 et 2 représentent les deux sens de rotation du premier moteur.
- 3 et 4 représentent les deux sens de rotation du deuxième moteur.
- P1 : indique que le deuxième moteur a effectué un pas.

Après suppression des états interdits on obtient la table réduite suivante :

P1	C1	C2	C3	C4	1	2	3	4
0	0	0	0	1	0	0	1	0
0	0	0	1	1	0	0	0	1
0	0	1	0	0	0	0	1	0
0	0	1	1	0	0	1	0	0
0	1	0	0	1	1	0	0	0
0	1	1	0	0	0	0	1	0
1	0	0	0	1	1	0	0	0
1	0	0	1	1	0	0	0	1
0	0	1	1	0	0	1	0	0
1	0	1	0	0	0	1	0	0

En utilisant la logique booléenne on a tiré les fonctions d'activation de chaque moteur ainsi que sa direction :

$$1 = (C1 * C4 + C4 * P1)$$

$$2 = (C2 * C3 + C2 * P1)$$

$$3 = (C4 + C2)$$

$$4 = (C3 * C4 + C3 * C4 * P1) = C3 * C4$$

Pour ce fait on s'est servi des quatre entré numériques (EIO-10...EIO-13) pour l'acquisition de l'état de ces capteur puis le transformé en donnée booléen.

Lors de l'exécution ce programme nous génère les codes 0,1...4 décidant ainsi quel moteur doit se mettre en action et dans quelle direction.

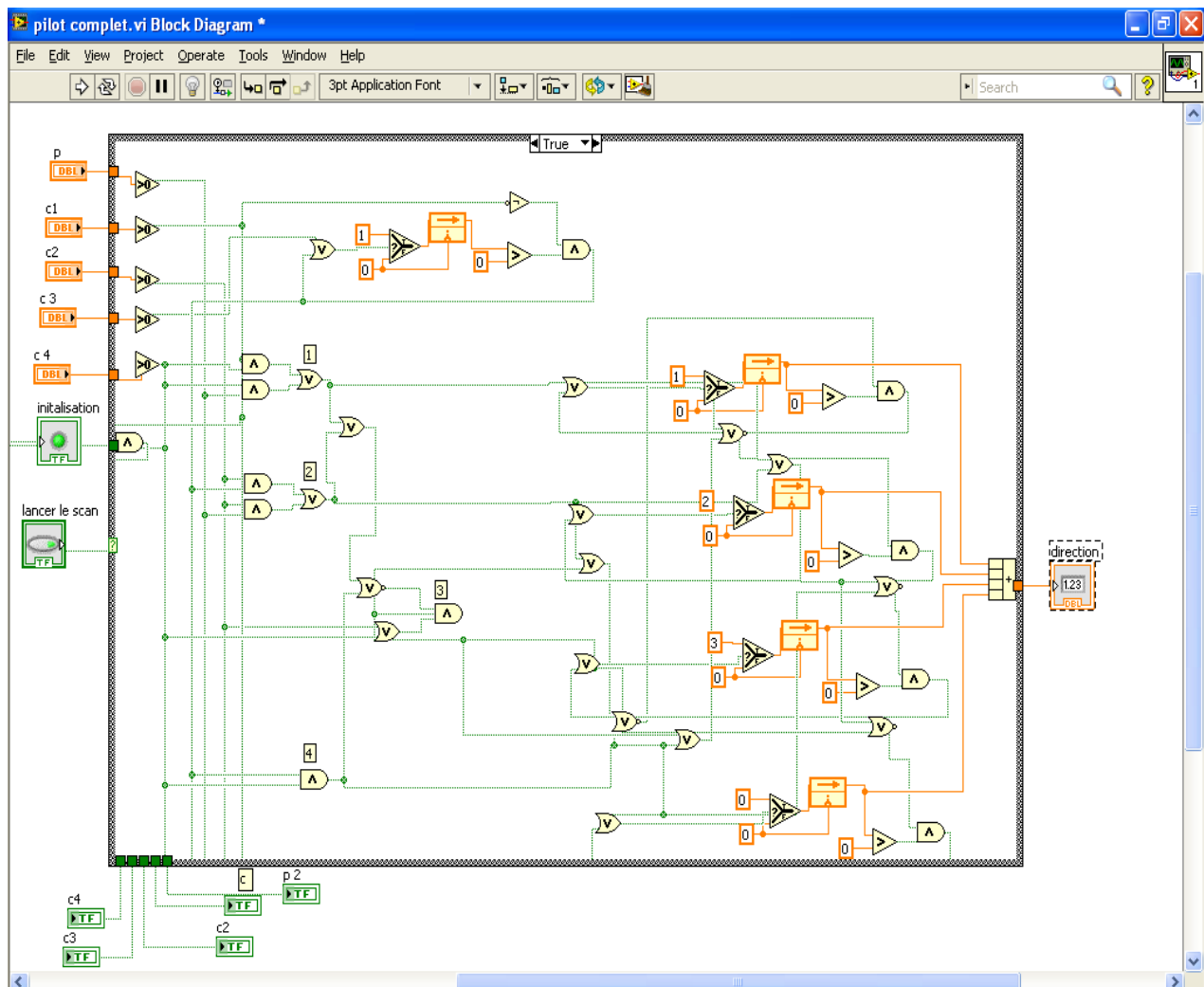


Figure 4.19 : programme de génération des codes [0..4]

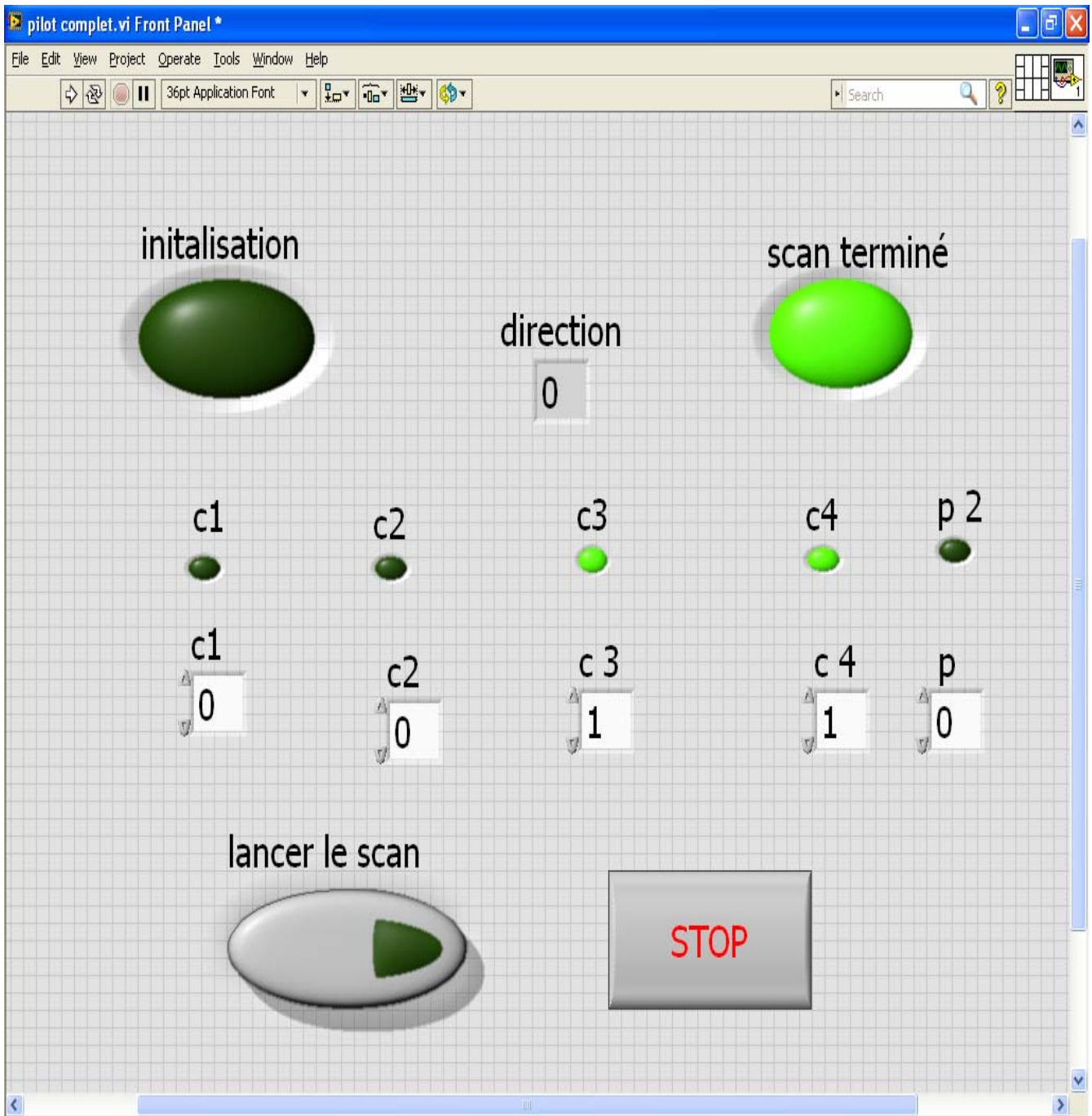


Figure 4.20 ; la face avant du programme de la figure 1.19

Le résultat obtenu est un circuit intégré qui se compose de :

- Dix portes and.
- Douze portes or.
- Cinq portes not or.
- Un inverseur.
- Dix comparateurs.

IX. Acquisition et enregistrement du courant image sous forme de valeurs numériques rangées en matrice :

L'interconnexion entre le signal analogique image de la lumière à mesurer et l'entrée de la carte d'acquisition est référée à la masse. La lecture est effectuée sur demande du logiciel.

L'entrée analogique EIO-14 a été configurée pour la lecture du capteur optique.

La lecture se fait automatiquement à chaque pas effectué par l'un des deux moteurs. Cependant on a programmé une acquisition a temps réel sous formé d'un graphe.

P1 et p2 étant la valeur des encodeurs elles sont multipliées par le pas élémentaire afin de traduire la position en cordonnées X et Y.

Voici les schémas de simulation dans la fenêtre de Programme et du Diagramme

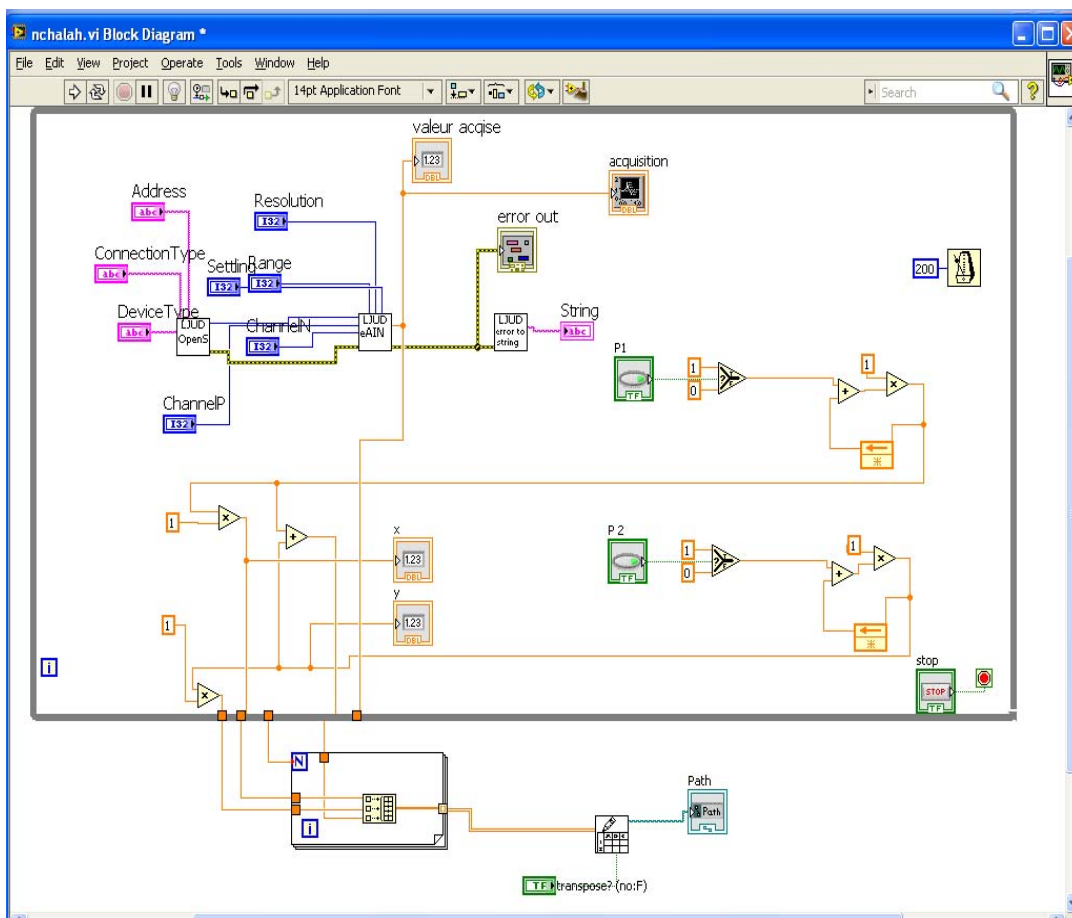


Figure 4.21 : *programme pour l'enregistrement des signaux provenant du capteur*

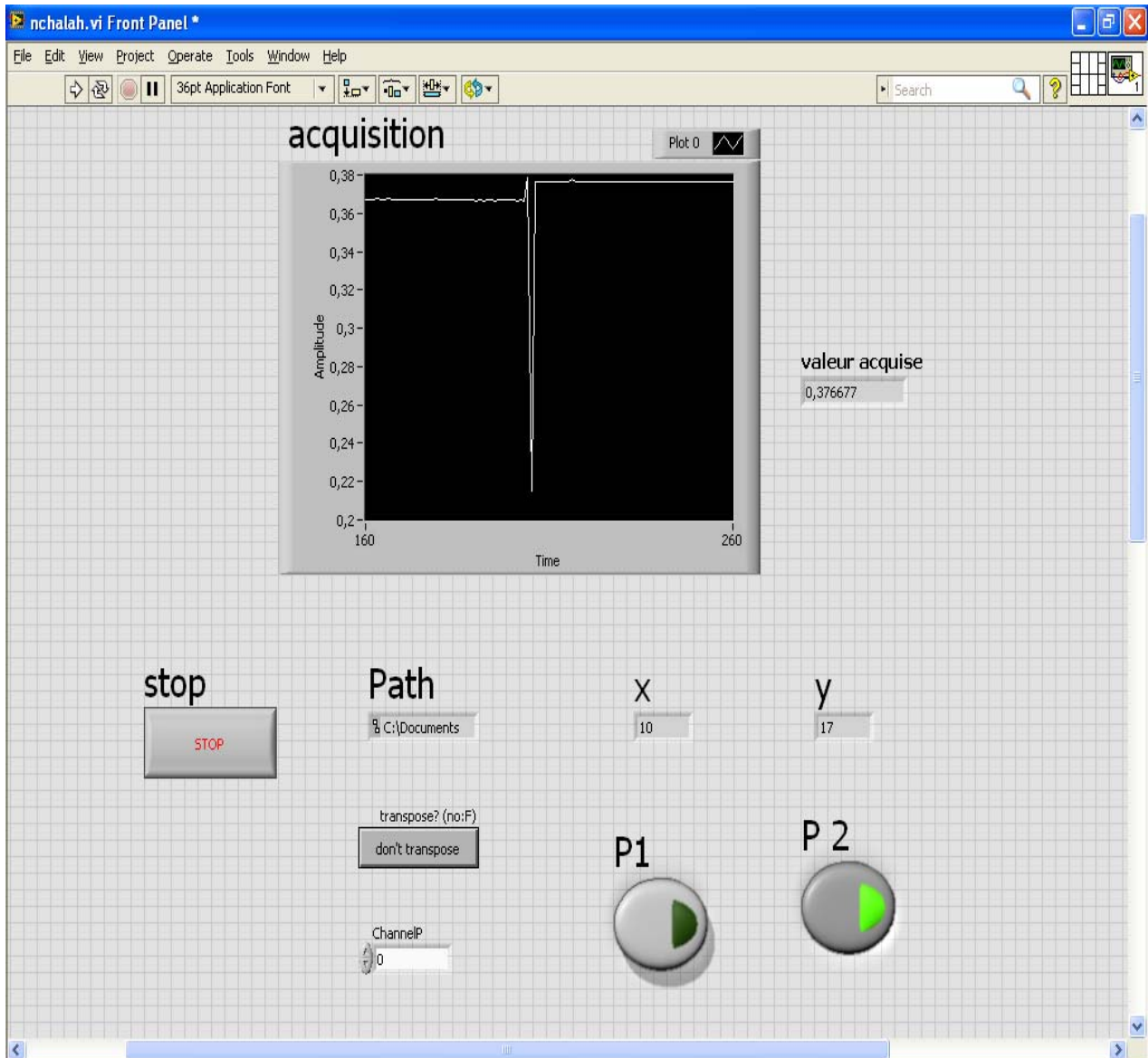


Figure 4.22: Programme de la figure 4.21 sur la face avant.

Après exécution une fenêtre de dialogue s’affiche pour demander l’emplacement d’enregistrement de la matrice image du courant issu du capteur optique.

Le fichier résultant peut être exploités par les différents programmes de lecture tel que Excel ou bloc note afin de servir de support d’information pour les différents domaines de caractérisations des surfaces.

Conclusion générale :

Notre travail a consisté à l'étude et la réalisation d'un système de caractérisation de surface par méthode de scan ayant la flexibilité de changement et d'adaptation de la sonde de mesure. Le système réalisé est conçu de manière à ce qu'il nous procure un mouvement à deux degrés de liberté en x et y à travers des articulations entraînées par des moteurs pas à pas, cependant les problèmes liés au moment d'inertie peuvent nous induire dans une marge d'erreur sur la précision des déplacements.

Un approfondissement sur les systèmes mécaniques (réducteurs, crémaillère ...etc.) s'imposent en vue d'éliminer les éventuelles erreurs micrométriques afin de remédier à cela les nouvelles technologies de pointes s'appuient sur les MEMS.

Les capteurs décrits précédemment, présentent deux parties distinctes. Une première partie qui a pour rôle de détecter un événement et une deuxième partie qui a pour rôle de traduire cet événement en un signal exploitable. Pour faire un choix correct d'un capteur, il faut définir tout d'abord :

- Le type d'événement à détecter.
- La nature de l'événement.
- La grandeur de cet événement.
- Sensibilité aux bruits.
- Ses performances.
- Sa fiabilité.
- Son prix.

Le type du signal délivré par le capteur

Dans ce genre de concept l'outil informatique n'est pas d'une moindre importance, un logiciel performant nous permettra une bonne gestion de tout le système et une facile manipulation des données.

Notre système nous génère les données sous forme de matrice disponible pour le traitement par les différents spécialistes.

Bibliographies :

- [1] : DAZZI Alexandre ; Travaux Pratiques d'initiation à la microscopie à force atomique (AFM) ; université paris-sud XI ; 2004.
- [2] : J. Faerbe ; thèse : Microscopie électronique à balayage ; 2004.
- [3] : Abdenbi MOHAND OUSAID ; Conception d'une chaîne de micro télé opération stable et transparente ; 2013.
- [4] : Saber MEZGHANI ; thèse : Approches multi-échelles de caractérisation tridimensionnelle des surfaces – Applications aux procédés d'usinage – ; 2005.
- [5] : C. Amra ; thèse Introduction a l'étude de la diffusion de la lumière par les rugosités des surfaces optiques ; F-13397 Marseille cedex 13, France.
- [6] : MAURICE F., MENY L., TIXIER R.: Microanalyse et microscopie à balayage.
Les Editions de Physique 1978.
- [7] : Arnaud De grave ; thèse conception intégré des micros système électromécanique ; 2004.
- [8] : Cours d'Optique géométrique ; Université Pierre et Marie Curie Licence 1erannée
UE LP 103 ; Année 2009-2010.
- [9] : Gilbert Grinberg, Alain Aspect, Claude Fabre ; Introduction aux lasers et à l'optique quantique ; ellips, 1997.
- [10] : Sébastien THON : thèse Physique de la lumière ; 2012.
- [11] : Ait RAMDANE Naima, AIT KACI Djedjiga, « Réalisation d'un capteur de position en vue d'autopiloter une machine synchrone a aimants permanents », PFE DEUA 2005, Université Mouloud MAMMERY.
- [12] : NI. Ichinose ; T. Kobayashi ; guide pratique des capteurs ; Masson, 1996.
- [13] : Patrice ogric ; moteur pas à pas et pc ; dunod, paris, 2001.
- [15] : ASH G. et Coll. – Acquisition de données. Du capteur à l'ordinateur. Dunod, 2003.
- [16] : ASH G. et Coll. – Les capteurs en instrumentation industrielle. Dunod, 1998.
-

[17] : BAUDOIN F. et LAVABRE M. – Capteurs : Principes et Utilisations. Casteilla, 2007.

[18] : COTTET F. – LabVIEW : programmation et applications. Dunod, 2001.

[19] : COTTET F. – Traitement des signaux et acquisition de données. Dunod, 2002.
