



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Med Khider Biskra

Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie

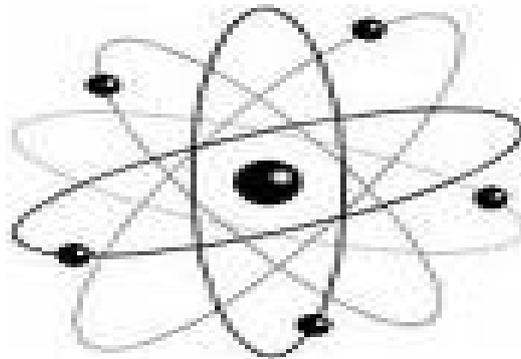


Département des Sciences de la Matière

Domaine des Sciences de la Matière

Filière de Physique

Spécialité Physique Photovoltaïque



Mémoire de fin d'étude en Master

Intitulé :

***Caractérisation automatisée des diodes
électroluminescentes***

Presenté par:

Tabbi Hadjer

Devant le Jury Composé par :

<i>N. Sengouga</i>	<i>Professeur</i>	<i>Université Med Khider- Biskra</i>	<i>Président</i>
<i>T.Tibermacine</i>	<i>M.C. «A»</i>	<i>Université Med Khider- Biskra</i>	<i>Rapporteur</i>
<i>N.A. Abedslam</i>	<i>M.C. «B»</i>	<i>Université Med Khider - Biskra</i>	<i>Examineur</i>

Année Universitaire
2013-2014

ا ه ح ا ح

الهي لا يطيب الليل إلا بذكرك .. و لا يطيب النهار إلا بطاعتك .. و لا تطيب اللحظات إلا بشكرك .. فحمدا لك ربي لتوفيقني انجاز هذا العمل.

الى من جرع الكاس فارغا يسقيني قطرة حب .. الى من كلت انامله ليقدّم لي لحظة سعادة .. الى من حصد الاشواك عن دربي ليمهد لي طريق العلم .. الى من احمل اسمه بكل افتخار ..
والدي العزيز

الى ينبوع الحنان .. الى مصدر الامان .. الى شذى الريحان .. الى هدية الرحمن .. الى التي تحت قدميها الجنان .. الى من دعاؤها سر نجاحي .. و بلسم جراحي .. الى اعلى الاحباب ..

امي الحبيبة

الى من سطرت معهم ايام طفولتي و شبابي .. الى القلوب الطاهرة الرقيقة .. الى النفوس الصافية البريئة .. الى رياحين حياتي .. **اخوتي و اخواتي**

الى مقاعد الالفة .. و مجالس السعادة .. الى من سكنوا فؤادي .. و بددوا احزاني .. الى الذين لا ارى الوان الحياة إلا بوجودهم .. **صديقاتي العزيزات**
الى من حملوا اقدس رسالة في الحياة .. **اساتذتنا الافاضل**

الى فوج سنة ثانية ماستر فيزياء كمونية ضوئية 2014/2013

الى قسم علوم المادة

الى كل من هم في قلبي و لم يكتبهم قلبي

اهدي هذا العمل

هاجر طبي

REMERCIEMENTS

Ce travail n'aurait jamais vu le jour sans la volonté de ALLAH qui nous a offert santé, force, courage et volonté jusqu'au dernier moment. Nous remercions ALLAH pour ça et pour tout le reste.

*C'est avec un immense plaisir que nous exprimons nos remerciements les plus chaleureux à notre encadreur **Dr. TIBERMACHINE TOUFIK** qui a toujours suivi ce travail avec intérêt et qui le témoigne par des encouragements de toutes sortes.*

*Notre gratitude et respect à Monsieur le président **Pr. N. SENGOUGA** et le membre de jury Mademoiselle **Dr. N.A. ABEDSLAM**, d'avoir bien voulu nous faire l'honneur de juger notre travail.*

*Il m'est aussi très agréable de remercier Monsieur **Dr. A. CHOUCANE** il m'a principalement encouragé à travers ses orientations et ses conseils.*

*Mes remerciements les plus élogieux à mes collègues **Zoulikha**, **Randa** et **Sara** pour l'aide précieuse dans la réalisation de ce travail.*

En fin pour tous ceux qui, de près ou de loin ont rendu ce travail possible.

HADJER TABBI

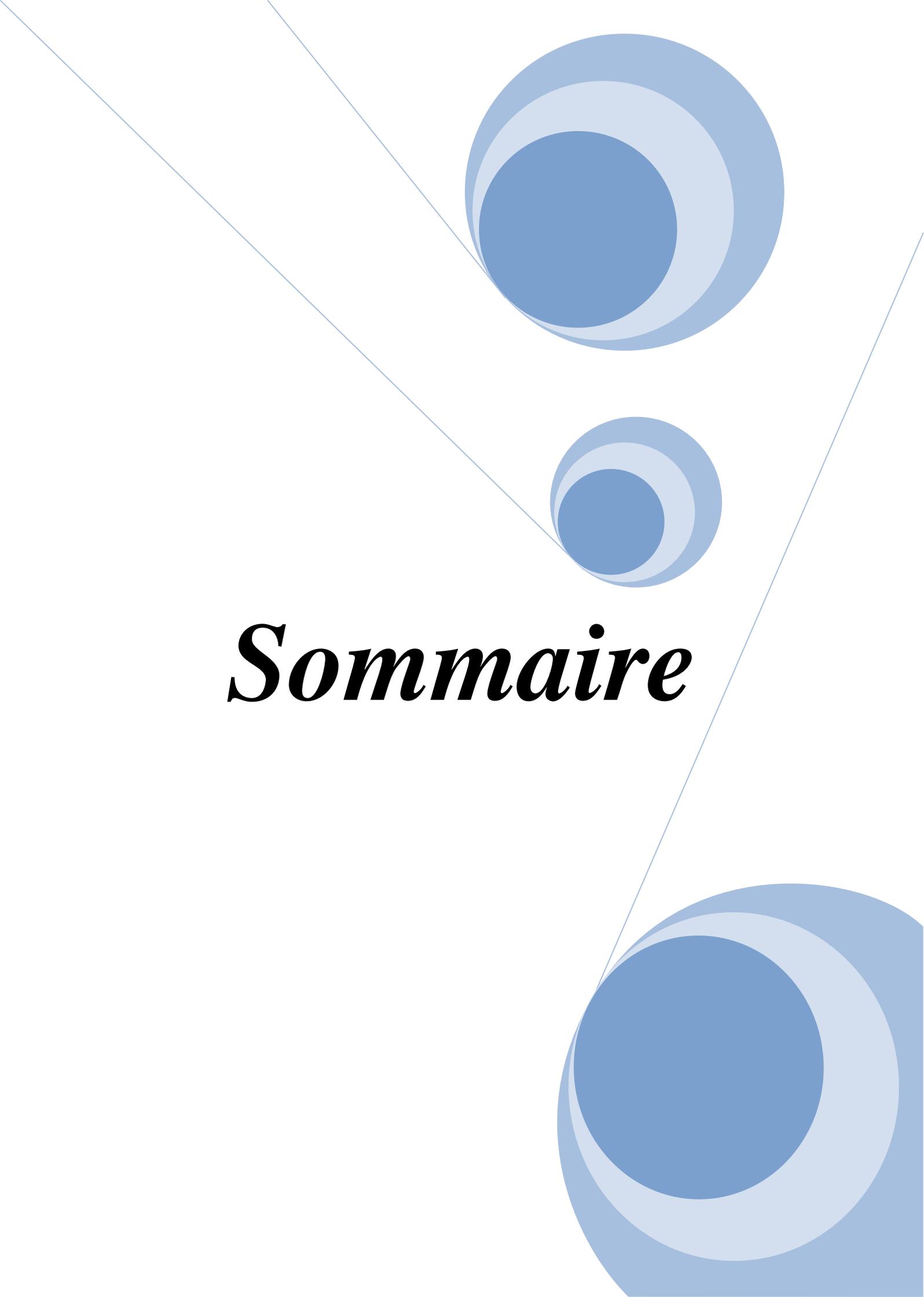
The background features a decorative graphic consisting of three blue circles of varying sizes, each with a gradient from dark blue to light blue. These circles are arranged vertically, with the largest at the top, a smaller one in the middle, and another large one at the bottom. Two thin, light blue lines intersect at a point to the left of the circles, forming a V-shape that frames the central text.

Résumé

Résumé

L'objectif de notre travail expérimental est d'extraire les caractéristiques électriques et optiques de quatre diodes électroluminescentes à longueurs d'ondes différentes (565nm, 590nm, 612nm, 660nm). Pour cette raison, nous avons développé un programme LabView qui nous a permis de déterminer ces caractéristiques. Nous avons mesuré d'une manière automatisée, les caractéristiques courant-tension, puissance optique-courant et la réponse spectrale des quatre diodes électroluminescentes. Nos résultats montrent que les caractéristiques mesurées sont presque les mêmes données par le constructeur.

Mot clés : Diodes électroluminescentes, courant-tension, puissance optique-courant, réponse spectrale, LabView.

The background features a white page with a large, light blue triangle pointing downwards from the top-left corner. Three blue circles of varying sizes are arranged vertically within this triangle. Each circle is composed of three concentric layers: a dark blue inner circle, a medium blue middle ring, and a light blue outer ring. The circles are positioned at the top, middle, and bottom of the triangle, with the middle one being the smallest and the top and bottom ones being larger. The word "Sommaire" is centered in the middle of the page, below the middle circle.

Sommaire

Sommaire

Dédicace	i
Remerciement	ii
Résumé	iii
Sommaire	iv
Introduction générale	01

Chapitre I Généralité sur semi-conducteur

I.1	Introduction	02
I.2	Bandes d'énergie	02
I.3	Semi-conducteurs intrinsèques	03
I.3.1	Liaison de covalence	06
I.3.2	Génération de paires électron-trou	06
I.3.3	Conduction par électron et par trou	07
I.3.4	Recombinaison	07
I.3.5	Concentration des porteurs dans le silicium intrinsèque	10
I.4	Semi-conducteurs extrinsèques	11
I.4.1	Dopage de type P	12
I.4.2	Dopage de type N	14
I.4.3	Cas générale	16
I.5	La jonction P-N	17
I.5.1	Jonction non polarisée	17
I.5.2	Jonction P-N polarisée en direct	21
I.5.3	Jonction P-N polarisée en inverse	23
I.6	Caractéristiques courant-tension	24

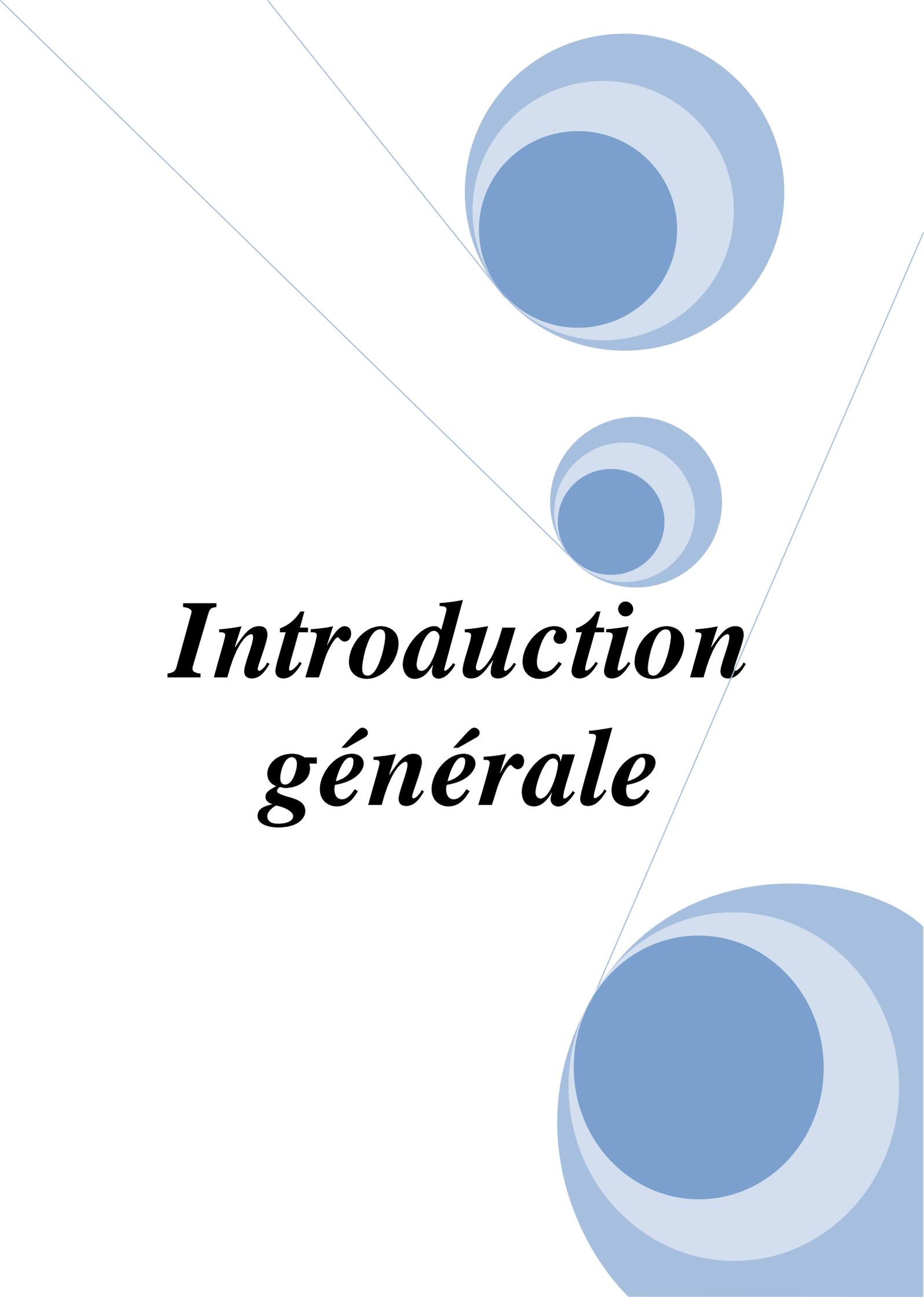
Chapitre II Composants photoniques

II.1	Introduction	26
II.2	Diode électroluminescente	26
II.2.1	Définition	26
II.2.2	Principe de fonctionnement	26
II.2.3	Rendement lumineux de la diode électroluminescente	28
II.2.4	Structure et technique de fabrication des diodes électroluminescentes	29
II.2.5	Différentes familles des diodes électroluminescentes	32
II.2.6	Avantages et inconvénients des diodes électroluminescentes	32
II.2.7	Différentes utilisation des diodes électroluminescentes	33
II.3	Photodiode	34
II.3.1	Définition	34
II.3.2	Principe de fonctionnement	35
II.3.3	Caractéristique de la photodiode	36
II.3.4	Différents types de photodiode	36

Sommaire

Chapitre III Composants photoniques

III.1	Introduction	38
III.2	Logiciel LabView	38
III.3	Echantillons	39
III.4	Etude expérimental	41
III.5	Caractéristiques courant-tension et puissance optique-courant	41
III.5.1	Instrumentations	41
III.5.2	Montage expérimental	41
III.5.3	Programme LabView	43
III.5.4	Résultats	44
III.6	Réponse spectrale	47
III.6.1	Instrumentations	47
III.6.2	Montage expérimental	47
III.6.3	Programme LabView	49
III.6.4	Résultats	50
	Conclusion générale	53
	Bibliographie	54
	Annexes	

The background features a white page with three blue circular elements. Each circle is composed of three concentric rings: a dark blue inner circle, a light blue middle ring, and a medium blue outer ring. Two thin, light blue lines intersect at the top center, forming a 'V' shape that frames the top two circles. The bottom circle is partially cut off by the right edge of the page.

***Introduction
générale***

Introduction générale

La première émission de lumière par un semi-conducteur date de 1907 et fut découverte par H. J. Round. Quelques années après, en 1927, O. V. Losev dépose le premier brevet de ce qui sera appelé, bien plus tard, une diode électroluminescente (LED). Ce n'est qu'en 1962 que la première LED rouge est créée par Nick Holonyak Jr et S. Bevacqua. Durant quelques années, les chercheurs ont cru devoir se limiter à quelques couleurs telles que le rouge, le jaune ou le vert. Dans les années 1990, les recherches, entre autres, de Shuji Nakamura (en) et Takashi Mukai de Nichia, dans la technologie des semi-conducteurs InGaN permettent la création de LED bleue, et par conséquent de LED blanches, par l'utilisation couplée de LED bleue et jaune. Cette importante avancée fut le point de départ de nouvelles applications majeures : éclairage, écrans de téléviseurs et d'ordinateurs [1]. Aujourd'hui, La diode électroluminescente est un dispositif électronique qui se retrouve dans de nombreuses applications au quotidien [2]. Dans le cas général, une LED doit être connectée à une source de tension par l'intermédiaire d'une résistance de limitation de courant.

L'objectif principal de ce travail est de développer un programme sous l'environnement LabView permettant d'acquérir les caractéristiques électriques et optiques des LEDs. Cette étude se présente de la façon suivante :

Le premier chapitre constitue un rappel général sur les semi-conducteurs.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons les composants photoniques tels que les diodes électroluminescentes et les photodiodes.

Dans le dernier chapitre, nous présentons les résultats expérimentaux obtenus d'une manière automatisée en utilisant l'environnement LabView. Plusieurs caractéristiques de différentes LEDs seront étudiées notamment la caractéristique courant-tension (I-V), la caractéristique puissance-courant (P-I) et la réponse spectrale. Nous terminerons notre mémoire par une conclusion générale.

The background features a white page with three blue circular elements of varying sizes, each composed of concentric circles in different shades of blue. These circles are arranged vertically, with the largest at the top and bottom, and a smaller one in the middle. Two thin, light blue lines intersect at a point in the upper left, forming a V-shape that frames the central text.

Chapitre I
Généralité sur
Semi-conducteur

1.1. Introduction

Le semi-conducteur est un matériau qui à l'état solide ou liquide conduit l'électricité à température ambiante mais moins aisément qu'un métal conducteur. Aux basses températures, les semi-conducteurs purs se conduisent comme des isolants ; à des températures élevées ou en présence de lumière ou d'impuretés la conductivité des semi-conducteurs s'accroît fortement pouvant même devenir comparable à celle des métaux [3].

1.2. Bandes d'énergie

Dans l'atome isolé les électrons occupent des niveaux d'énergie discrets. Dans un cristal, par suite des interactions entre les atomes, ces niveaux discrets s'élargissent et les électrons occupent des bandes d'énergie permises séparées par des bandes interdites. La répartition des électrons dans les niveaux obéit aux lois de la thermodynamique statistique. Au zéro absolu, seuls sont peuplés les niveaux de plus basse énergie [4]. Dans un atome isolé, les électrons sont répartis sur différentes couches correspondant à des niveaux d'énergie quantifiés (couches K, L, M). Dans un cristal, les niveaux d'énergie des atomes le constituant se chevauchent et se mélangent de sorte que les niveaux d'énergie accessibles aux électrons sont beaucoup plus larges et constituent ce qu'on appelle des bandes d'énergie (chaque bande est en fait constituée de multiples niveaux d'énergie discrets autorisés). Dans le cas présent, on s'intéresse à trois bandes :

- La bande de valence dans laquelle les électrons ne font que participer aux liaisons inter atomique conférant au cristal sa solidité.
- La bande de conduction dans laquelle les électrons sont libres de se mouvoir et de conduire ainsi un courant électrique.
- La bande interdite séparant les bandes de valence et de conduction dans laquelle on ne trouve aucun électron (pas de niveau d'énergie).

Un matériau est conducteur, isolant ou semi-conducteur selon le remplissage de ces bandes :

A/ Isolant : aucun électron ne se trouve dans la bande de conduction et la bande interdite est trop large pour permettre à des électrons de passer de la bande de valence à la bande de conduction, même en présence d'un champ électrique. Aucun courant ne peut passer.

B/ Conducteur : la bande de conduction est partiellement remplie et ces électrons peuvent en présence d'un champ électrique acquérir une énergie supplémentaire et peupler des niveaux d'énergie supérieure disponibles dans la bande de conduction. Un courant électrique peut donc passer.

C/ Semi-conducteur : dans ces matériaux, la bande interdite est moins large et un électron peut acquérir grâce à l'agitation thermique une énergie suffisante pour sauter de la bande de valence à la bande de conduction, laissant un trou dans la bande de valence. Sous l'action d'un champ électrique, les électrons situés dans la bande de conduction et les trous situés dans la bande de valence peuvent acquérir un mouvement collectif : le solide devient conducteur [5].

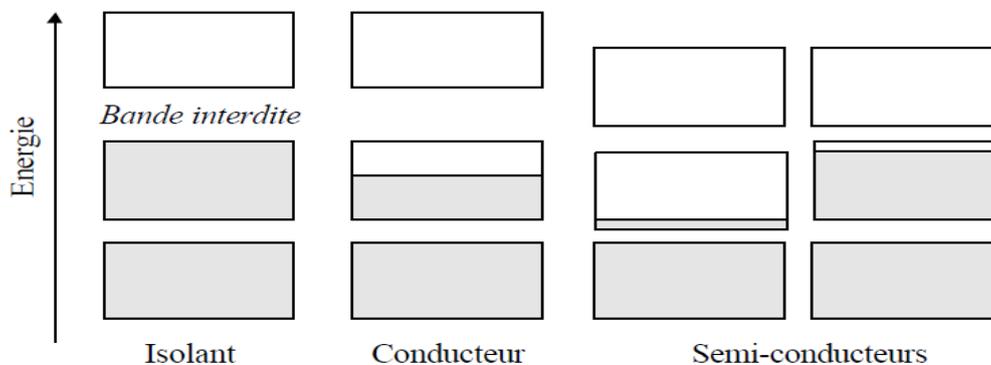


Figure I.1: Types de matériaux.

1.3.2. Semi-conducteurs intrinsèques

Un semi-conducteur dit intrinsèque est un matériau idéal ne possédant ni défaut physique ni défaut chimique [6]. Il est un semi conducteur dépourvu de toute impureté susceptible de modifier la densité de porteurs. Les électrons de la bande de conduction ne peuvent résulter que de l'excitation thermique d'électrons liés de la bande de valence [7]. On peut définir le semi-conducteur intrinsèque comme il est un semi-conducteur non dopé, c'est-à-dire qu'il contient peu d'impuretés en comparaison avec la quantité de trous et d'électrons générés thermiquement. Pour mieux appréhender le comportement des semi-conducteurs, nous devons étudier plus en détail les populations d'électrons et de trous dans chacune des bandes de conduction et de valence. Aussi, nous allons réaliser un bilan électronique des semi-conducteurs intrinsèques. Pour ce faire, nous devons introduire la notion de densité d'états énergétique $N(E)$. Cette grandeur, dépendante de l'énergie électronique E ,

correspond à la place disponible pour les électrons dans la bande de conduction $N_c(E)$ et à la place disponible pour les trous dans la bande de valence $N_v(E)$. Pour des énergies proches des extrêmes de ces deux bandes, son tracé est parabolique [8] :

$$N_c(E) = \frac{1}{2\pi^2} \left(\frac{2m_c}{\hbar^2}\right)^{3/2} \sqrt{E - E_c} \quad (\text{I.1})$$

$$N_v(E) = \frac{1}{2\pi^2} \left(\frac{2m_v}{\hbar^2}\right)^{3/2} \sqrt{E_v - E} \quad (\text{I.2})$$

Où

$\hbar = \frac{h}{2\pi}$ est la constante de Planck normalisée ($h=6.626.10^{-34}$ Js).

m_c est la masse effective de densité d'états dans la bande de conduction.

m_v est la masse effective de densité d'états dans la bande de valence.

Il faut connaître la probabilité de présence d'un électron sur un niveau d'énergie E . Cette probabilité est donnée par la fonction de Fermi-Dirac [8] :

$$F(E) = \frac{1}{1 + \exp\left[\left(\frac{E - E_F}{KT}\right)\right]} \quad (\text{I.3})$$

Où

$K = 1.38.10^{-23} JK^{-1}$ est la constante de Boltzmann.

T est la température

E_F est l'énergie de Fermi considérée comme le potentiel chimique en semi-conducteurs.

Il va de soit que la probabilité d'occupation d'un niveau d'énergie E par un trou est $1 - f(E)$ car l'absence d'un électron implique la présence d'un trou et vice versa. La densité d'électrons n dans la bande de conduction est alors obtenue en sommant sur toute la plage d'énergie couverte par cette bande, la place disponible pour les électrons à l'énergie E pondérée par la probabilité de trouver un électron à ce même niveau d'énergie [8] :

$$n = \int_{E_c}^{+\infty} N_c(E) \cdot f(E) dE \quad (\text{I.4})$$

De même pour la densité des trous p dans la bande de valence :

$$p = \int_{-\infty}^{E_v} N_v(E) \cdot (1 - f(E)) dE \quad (\text{I.5})$$

Pour un semi-conducteur dont le niveau de Fermi E_F est distant des extrêmes de plus de $3KT$, la fonction de Fermi se simplifie sous une forme exponentielle et on obtient pour écriture des densités de porteurs [8]:

$$n = N_c \exp -\frac{[E_c - E_F]}{KT} \quad (\text{I.6})$$

$$\text{Où } N_c = \int_{E_c}^{+\infty} N_c(E) \cdot \exp -\frac{[E - E_c]}{KT} dE \quad (\text{I.7})$$

$$p = N_v \exp \frac{E_v - E_F}{KT} \quad (\text{I.8})$$

$$\text{Où } N_v = \int_{-\infty}^{E_v} N_v(E) \cdot \exp \frac{E - E_v}{KT} dE \quad (\text{I.9})$$

$$np = n_i^2 \quad (\text{I.10})$$

$$\text{avec } n_i = \sqrt{N_c N_v} \exp -\frac{E_c - E_v}{2KT} \quad (\text{I.11})$$

Où

N_c et N_v sont les densités équivalentes d'états. Elles représentent en quelque sorte le nombre d'états utiles, à la température T , dans leur bande d'énergie.

n_i est la densité de porteurs intrinsèques (pour le silicium à $300K$, $n_i = 10^{10} \text{ cm}^{-3}$).

$$n = p = n_i$$

En remplaçant les densités de porteurs par leurs expressions respectives, l'égalité précédente nous permet de définir le niveau de Fermi pour un semi-conducteur intrinsèque E_{Fi} . Sachant qu'à température ambiante $K_B T$ est très inférieur au gap, ce niveau se trouve très proche du milieu de la bande interdite [9] :

$$E_{Fi} = \frac{E_c + E_v}{2} + \frac{KT}{2} \ln \frac{N_c}{N_v} \simeq \frac{E_c + E_v}{2} \quad (\text{I.12})$$

I.3.1. Liaison de covalence

Considérons un cristal de silicium non excité au zéro absolu ($0^{\circ}K$) dans l'obscurité. Afin de voir huit électrons sur sa couche externe, chaque atome de silicium met ses quatre électrons périphériques en commun avec les atomes voisins. On obtient ainsi, pour le cristal de silicium la représentation de la figure I.2. C'est la mise en commun des électrons périphériques, appelée liaison de covalence, qui assure la cohésion du cristal de silicium. Les électrons qui participent à ces liaisons sont fortement liés aux atomes de silicium. Il n'apparaît donc aucune charge mobile susceptible d'assurer la circulation d'un courant électrique. Le semi-conducteur est alors un isolant, en effet la bande de valence est saturée, toutes les places sont occupées alors que la bande de conduction qui offre des places libres est vide [10].

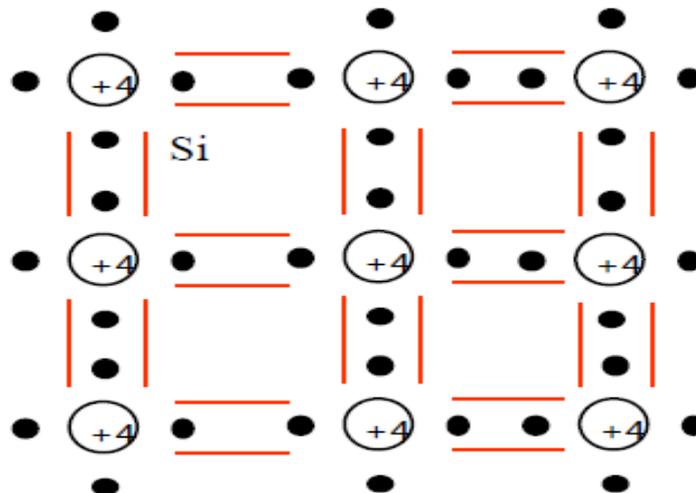


Figure I.2 : Liaison de covalence.

I.3.2. Génération de paires électron-trou

Lorsque la température n'est pas nulle, l'agitation thermique désordonne la configuration précédente : les électrons possèdent une énergie supplémentaire positive qui provoque la rupture de quelques liaisons de covalences (figure 1.3). Un des électrons participant à cette liaison acquiert ainsi de l'énergie nécessaire pour quitter l'atome auquel il était lié. Il devient un porteur de charge libre, capable de se déplacer dans le cristal, et autorisant ainsi la circulation d'un courant électrique sous une différence de potentiel [10].

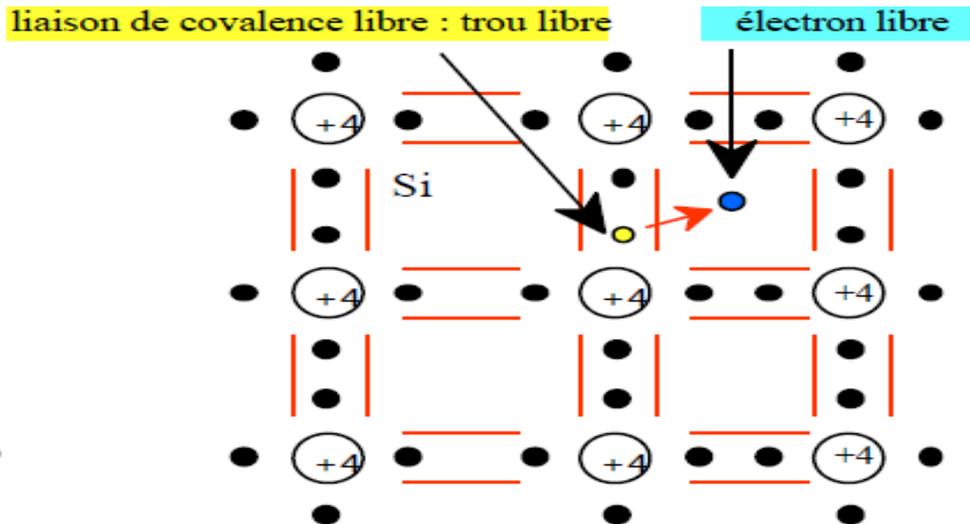


Figure I.3 : Génération de paires électron-trou.

I.3.3. Conduction par électron et par trou

Si une liaison de valence est brisée (agitation thermique, photon ...) l'électron devient mobile : il laisse un excès de charge positive le trou. Cette lacune va être comblée par un électron voisin libéré par agitation thermique et qui va à son tour laisser un trou : ceux-ci semblent se déplacer dans le réseau. Aux électrons de masse positive et charge négative correspondent des trous de masse négative et charge positive. Le déplacement des trous étant un processus à deux étapes, leur mobilité dans le réseau est plus faible que celle des électrons. Trous et électrons constituent les porteurs libres intrinsèques dont le nombre est fonction de la température. La neutralité électrique du matériau impose que les trous et les électrons soient en nombres identiques (n_i et p_i).

La conductivité intrinsèque du matériau σ est très faible. Elle est donnée par [4] :

$$\sigma = e(n_i\mu_n + p_i\mu_p) \quad (\text{I.13})$$

I.3.4. Recombinaison

L'ionisation thermique conduirait, à terme à l'ionisation de tous les atomes de silicium (soit $5 \cdot 10^{22}$ atomes par cm^3) si elle n'était compensée par un autre phénomène : les recombinaisons. En effet, un électron libre, arrivant, lors de son déplacement dans le cristal, à proximité d'un ion positif peut être capturé par ce dernier afin de satisfaire sa liaison de covalence (trou libre). La liaison de covalence est alors rétablie. Dans le modèle des bandes (figure 1.4) un électron de la bande de conduction libère sa place et vient occuper une place libre dans la bande de valence, neutralisant alors un trou. Lorsque l'électron descend de la bande de conduction vers la bande de valence, le semi-conducteur restitue l'énergie sous forme de chaleur ou

émet de la lumière (photon). Ce dernier effet est utilisé dans les diodes électroluminescentes ou les lasers semi-conducteurs. Le photon émis a une énergie égale à E_g selon [10] :

$$\lambda E_g = h \cdot c \quad (1.14)$$

Où

λ est la longueur d'onde

c est la vitesse de la lumière

En sens inverse, un photon qui possède une énergie supérieure ou égale à E_g a le pouvoir de générer une paire électron-trou.

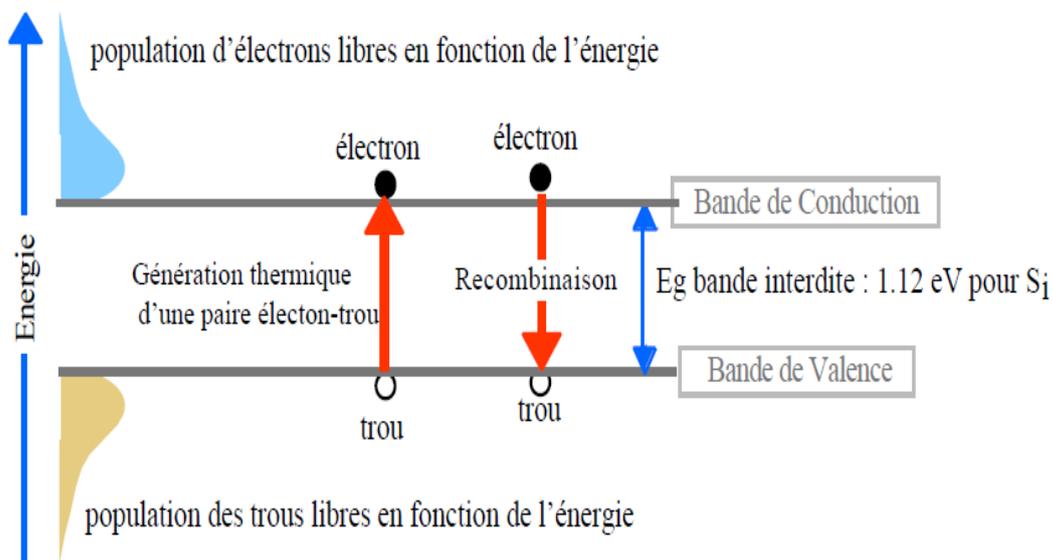


Figure I.4 : Phénomènes de génération thermique et de recombinaison.

Il ya trois mécanismes de recombinaison qui sont :

A/ Recombinaison radiative

La recombinaison radiative (émission spontanée) c'est le mécanisme inverse de l'absorption optique, l'énergie de la paire électron-trou est libérée sous la forme de photon [11-13]. Elle est bande à bande correspond à la recombinaison d'un électron de la bande de conduction avec un trou de la bande de valence, avec émission d'un photon d'énergie E_g [14].

B/ Recombinaison Auger

Le second mécanisme de recombinaison est le processus de recombinaison non radiatif appelé recombinaison Auger qui se manifeste lorsque la densité de porteurs libres (n et p) dépasse 10^{17}cm^{-3} [15,16]. Le porteur recombinant transmet son énergie équivalente à la transition bande à bande à un porteur tiers, qui se trouve excité sur un niveau énergétique plus élevé. La recombinaison Auger est modélisée en utilisant l'expression suivante [17] :

$$R_{Auger} = C_{Aug,n}(pn^2 - nn_i^2) + C_{Aug,p}(np^2 - pn_i^2) \quad (\text{I.15})$$

Où

$C_{Aug,n}$ et $C_{Aug,p}$ sont les coefficients Auger pour les électrons et les trous.

C/ Recombinaison SRH

La recombinaison indirecte par l'intermédiaire d'un niveau profond : un électron et un trou passent à un niveau profond dans la bande interdite et s'y recombinent [18]. Ce mécanisme concernant la recombinaison via les défauts cristallographique et les impuretés métalliques (Cu, Fe, Au,...) présentes dans le matériau est reposant sur les recombinaisons assistées par multi-phonons. Il est plus couramment appelé « Shockley- Read-Hall » [19,20]. La recombinaison Schokley-Read-Hall est modélisée par :

$$R_{SRH} = \frac{pn - n_i^2}{\tau_{p0} \left[n + n_i \exp\left(\frac{E_t - E_i}{KT}\right) \right] + \tau_{n0} \left[p + n_i \exp\left(\frac{-(E_t - E_i)}{KT}\right) \right]} \quad (\text{I.16})$$

Où

E_t est la position énergétique des états de piège.

E_i est le niveau de Fermi dans le semi-conducteur intrinsèque.

τ_{n0} et τ_{p0} sont respectivement la durée de vie pour les électrons et les trous.

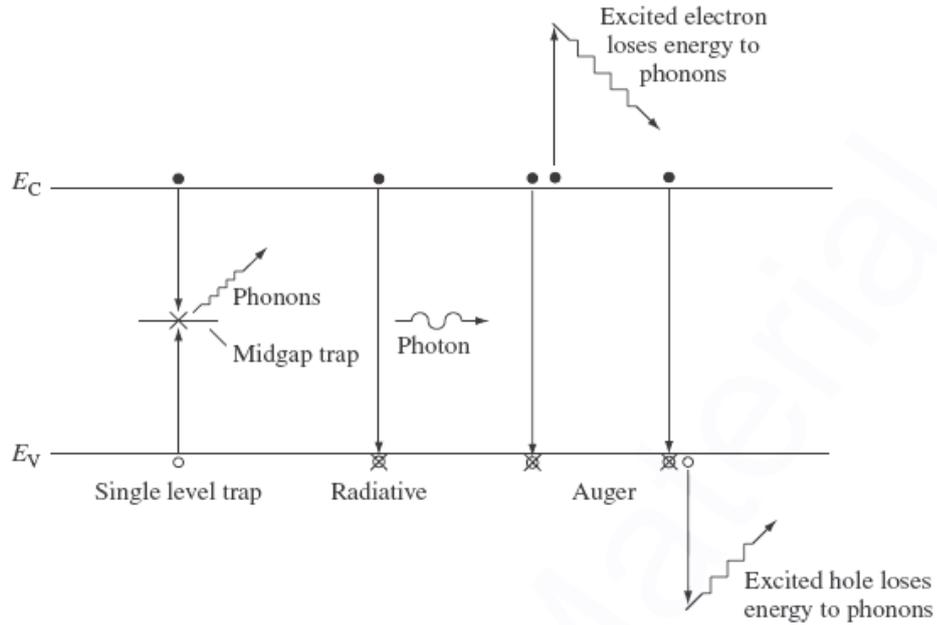


Figure I.5 : Types des recombinaisons

I.3.5. Concentration des porteurs dans le silicium intrinsèque

A température constante, un équilibre s'établit (figure I.6) entre les phénomènes d'ionisation thermique et de recombinaison ; les électrons libres et les ions de silicium apparaissant en quantités égales. La concentration en électrons libres n et en trous libres p sont égales à n_i la concentration intrinsèque. La mécanique statistique montre que la population des porteurs libres (n électrons dans la bande de conduction et p trous dans la bande de valence) s'exprime selon les lois [10] :

$$n = N_c \exp\left(-\frac{\Delta E_n}{KT}\right) \tag{I.17}$$

$$p = N_v \exp\left(-\frac{\Delta E_p}{KT}\right) \tag{I.18}$$

Où :

ΔE_c et ΔE_n représentent deux différences d'énergies liées à un niveau dit de Fermi qui indique les écarts de population entre les électrons et les trous.

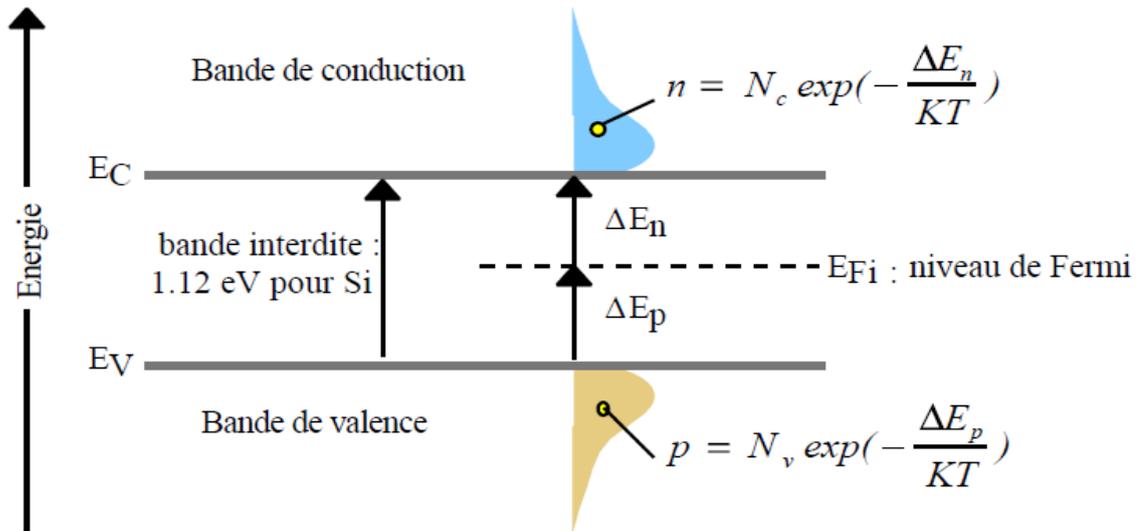


Figure I.6 : Populations des porteurs du semi-conducteur intrinsèque et niveau de Fermi

Pour le silicium pur à 300 K , où $p = n = n_i$, on montre que le niveau indicateur de Fermi E_{Fi} est situé au milieu de la bande interdite. La concentration intrinsèque en électrons libres et en trous libres par cm^3 dépend de la hauteur de bande interdite E_g et de la température T selon la loi [10]:

$$n = p = n_i = AT^{3/2} \exp\left(-\frac{E_g}{2KT}\right) \quad (\text{I.19})$$

Où :

A est constante du matériau.

E_g est la hauteur de la bande interdite (eV).

Le silicium intrinsèque a des applications pratiques limitées : photorésistance, thermistance. Cependant, il est possible en introduisant certaines impuretés en quantité contrôlée, de privilégier un type de conduction : par électrons libres ou trous libres.

I.4. Semi-conducteurs extrinsèques

Lorsqu'on ajoute à un semi conducteur intrinsèque un très faible taux d'impureté (de l'ordre d'un atome étranger pour 10^{18} atomes du cristal), on dit que le semi-conducteur est extrinsèque ou dopé par des impuretés spécifiques lui conférant des propriétés électriques adaptées aux applications électroniques (diodes, transistors, etc....) et optoélectroniques (émetteurs et récepteur de lumière, etc....). Dans un matériau pur, on introduit des impuretés par dopage. Pour que celui-ci soit

contrôlable, il faut que le degré de pureté initial global soit supérieur au taux du dopage. Les taux de dopage utilisés sont de l'ordre de 10^{-8} à 10^{-11} [21].

I.4.1. Dopage de type P

On introduit dans le réseau une impureté *trivalente* telle que B, Al, Ga, In. Il manque à l'impureté un électron de valence pour assurer les quatre liaisons avec les atomes de silicium voisins. Un faible apport d'énergie ($\approx 0,05$ eV) suffit pour qu'un électron d'un silicium voisin soit capté par l'impureté : il y a formation d'un trou peu lié et donc mobile. Les atomes trivalents (*accepteurs*) deviennent des ions négatifs par capture d'un électron. Compte tenu des taux de dopage, ces trous sont beaucoup plus nombreux que les porteurs intrinsèques du cristal pur. La conduction de type P (positive) est assurée par des trous. Il manque ainsi un électron à l'atome trivalent pour réaliser les liaisons covalentes avec les quatre atomes de silicium qui l'entourent (figure 1.7). En fait, les électrons participant aux liaisons sont indiscernables les uns des autres. Tout ce passe alors comme si un des atomes de silicium voisin avait cédé un électron à l'atome trivalent de bore, créant ainsi un trou dans le cristal de silicium.

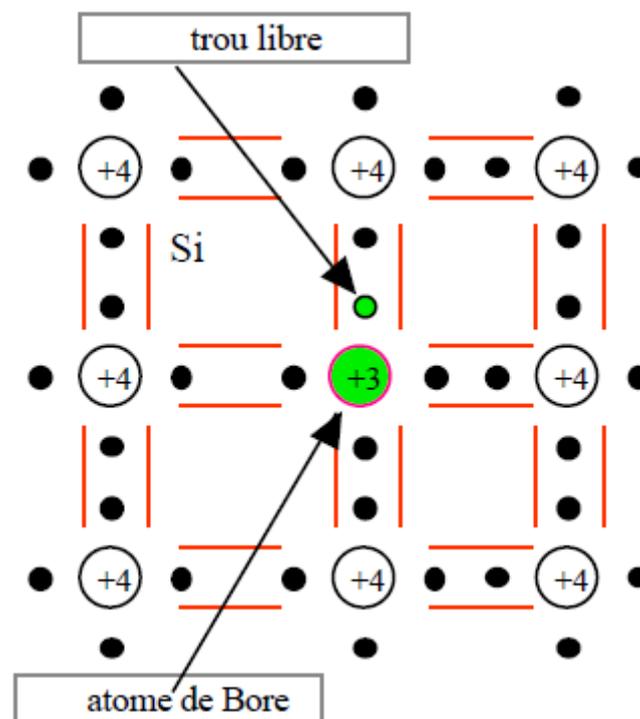


Figure I.7 : Libération d'un trou par le bore

L'atome de bore qui capte un électron est appelé atome accepteur, il a perdu sa neutralité pour devenir un ion négatif fixe. A la température ordinaire, la quasi-totalité

des atomes accepteurs sont ionisés. Si N_A est la concentration des atomes accepteurs, ceux-ci vont libérer : $p = N_A$ trous libres. Les concentrations en électrons libres (n) et en trous libres (p) sont liées par la loi d'action de masse [8] :

$$n \cdot p = n_i^2 \tag{I.20}$$

Les trous sont les porteurs majoritaires et les électrons les porteurs minoritaires. Pour les semi-conducteurs extrinsèques, la densité de dopant est toujours très supérieure à la densité de porteurs intrinsèques ($N_A \gg n_i$). Dans le cas d'un type p, la densité de trous est donc proche de celle du dopant accepteur N_A . La relation étant toujours vérifiée, nous obtenons pour les densités de porteurs [10]:

$$n = \frac{n_i^2}{N_A} \tag{I.21}$$

$$p = N_A \tag{I.22}$$

Le niveau de Fermi pour un semi-conducteur type p ou potentiel chimique est alors :

$$E_{Fp} = E_v + KT \ln \frac{N_v}{N_a} \tag{I.23}$$

Ainsi plus la densité d'accepteurs est élevée plus le niveau de Fermi se rapproche de la bande de valence. A la limite si $N_A = N_v$ le niveau de Fermi entre dans la bande de valence, on dit alors que le semi-conducteur est dégénéré. Dans la modélisation du schéma des bandes d'énergie (figure I.8), la population des électrons libres de la bande conduction est beaucoup plus faible que celle des trous libres dans la bande de valence.

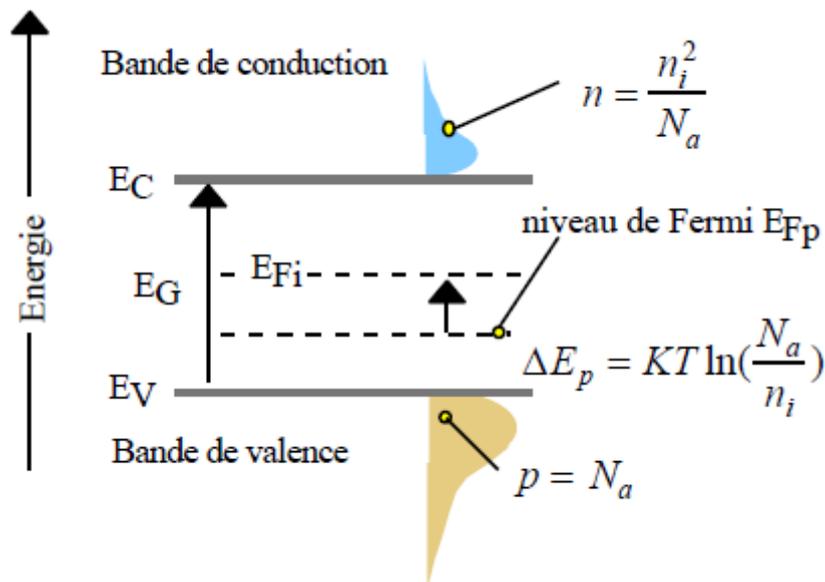


Figure I.8 : Schéma des bandes d'un semi conducteur de type P.

Le niveau indicateur de Fermi E_{F_p} se déplace du niveau intrinsèque E_{F_i} vers la bande de valence de telle manière que :

$$\Delta E_p = KT \cdot \ln \left(\frac{N_a}{n_i} \right) \quad (\text{I.24})$$

Avec $\Delta E_p = E_{F_i} - E_{F_p}$.

1.4.2. Dopage de type N

On obtient un semi-conducteur de type N en injectant dans le cristal de silicium des atomes qui possèdent cinq électrons sur leur couche périphérique. On introduit dans la matrice de silicium des atomes d'impuretés *pentavalents* tels que le phosphore P, l'arsenic As et l'antimoine Sb. Chaque atome d'impureté amène un électron de valence supplémentaire. Cet électron est peu lié au noyau ($E \approx 0,01 \text{ eV}$) et passe aisément dans la bande de conduction. La conductivité du matériau devient à cause du taux de dopage, très supérieure à celle du matériau pur. Les atomes pentavalents ou *donneurs* deviennent des ions positifs après le passage des électrons excédentaires dans la bande de conduction. Théoriquement montre que le nombre des électrons dans le matériau, fonction du taux de dopage, est supérieur au nombre des trous, fonction de la température. La conduction dite de type N (négative) est assurée par des électrons. Les électrons sont les porteurs majoritaires.

Quatre de ces cinq électrons sont mis en commun avec les atomes de silicium voisins pour réaliser des liaisons de covalences (figure I.9). Le cinquième électron, inutilisé, est très faiblement lié à l'atome pentavalent. Une très faible énergie suffit pour le libérer et il se retrouve libre dans la bande de conduction. L'atome de phosphore qui a fourni un électron libre est appelé atome donneur. Il a perdu sa neutralité pour devenir un ion positif fixe.

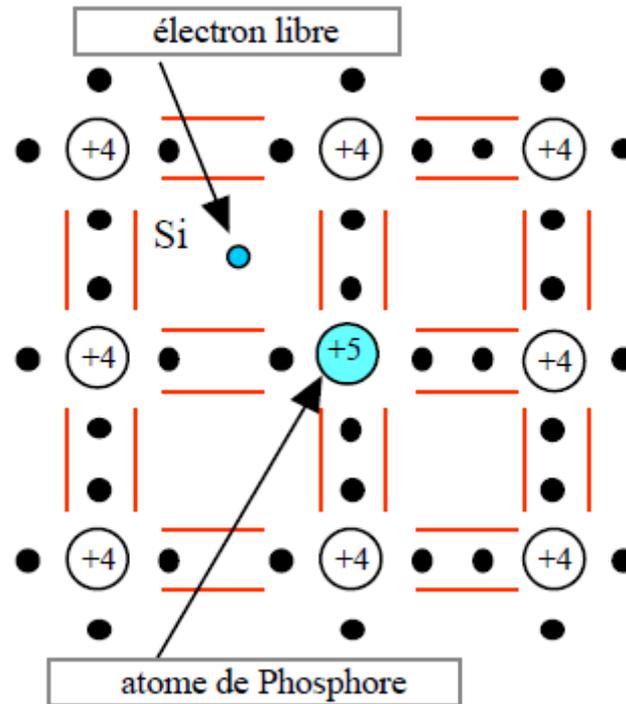


Figure I.9 : Libération d'un électron par l'atome de phosphore.

A la température ordinaire, la quasi-totalité des atomes donneurs sont ionisés. Si N_D est la concentration des atomes donneurs, ceux-ci vont libérer $n = N_D$ électrons libres. Les concentrations en électrons libres (n) et en trous libres (p) sont liées par la loi d'action de masse :

$$n \cdot p = n_i^2$$

Les électrons sont les porteurs majoritaires et les trous les porteurs minoritaires. Par analogie avec les semi-conducteurs de type p et en notant N_D la densité de donneurs, les densités de porteurs pour un semi-conducteur de type N sont [10] :

$$n = N_D \tag{I.25}$$

$$p = \frac{n_i^2}{N_D} \tag{I.26}$$

Le niveau de Fermi pour un semi-conducteur type N est alors :

$$E_{Fn} = E_c - KT \ln \frac{N_c}{N_D} \tag{I.27}$$

Ainsi plus la densité d'accepteurs est élevée plus le niveau de Fermi se rapproche de la bande de conduction. A la limite si $N_D = N_c$ le niveau de Fermi entre dans la bande de conduction. Dans la modélisation du schéma des bandes d'énergie (figure I.10), la

population des électrons libres de la bande conduction est beaucoup plus importante que celle des trous libres dans bande valence.

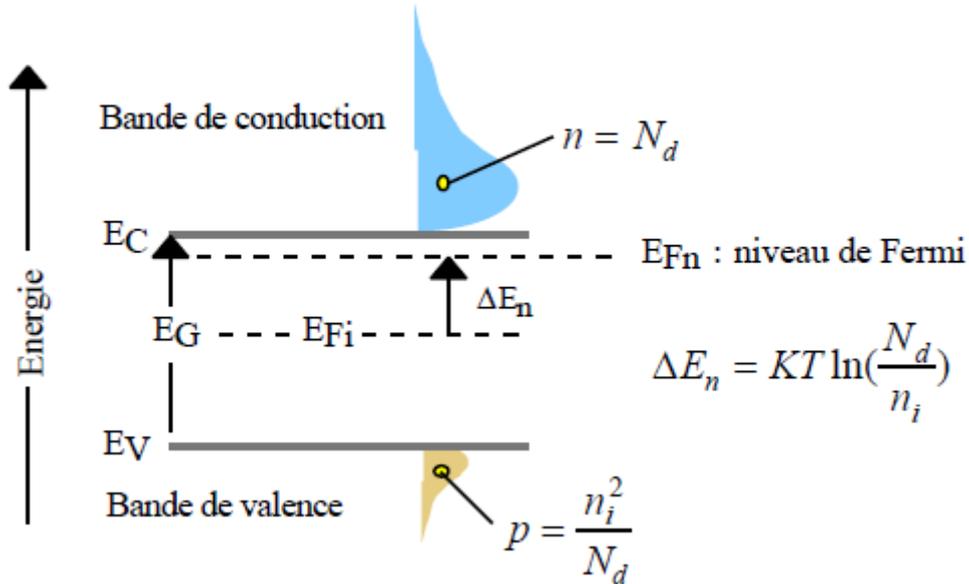


Figure I.10: Schéma des bandes d'un semi-conducteur de type N.

Le niveau indicateur de Fermi E_{F_n} se déplace donc du milieu de la bande interdite E_{F_i} vers la bande de conduction de telle manière que :

$$\Delta E_n = KT \cdot \ln\left(\frac{N_d}{n_i}\right) \tag{I.28}$$

Avec $\Delta E_n = E_{F_n} - E_{F_i}$

1.4.3. Cas général

Si le silicium a subit plusieurs dopages successifs par injection d'atomes accepteurs de bore et d'atomes donneurs de phosphore par exemple, la population en électrons libres (n) et en trous libres (p) est encore donnée par la loi d'action de masse :

$$n \cdot p = n_i^2$$

Cependant on doit aussi tenir compte de la neutralité électrique du cristal à savoir : les charges positives (trous libres et ions positive) sont égales aux charges négatives (électrons libres et ions négative), qui conduit à une deuxième relation [8]:

$$q(p + N_D) = q(n + N_A) \tag{I.29}$$

On en déduit les expressions des concentrations en porteurs [10] :

$$n = \frac{(N_d - N_a) + \sqrt{(N_d - N_a)^2 + 4n_i^2}}{2} \tag{I.30}$$

$$p = -\frac{(N_d - N_a) + \sqrt{(N_d - N_a)^2 + 4n_i^2}}{2} \tag{I.31}$$

La situation la plus courante est celle où l'une des concentrations domine très largement.

Pour $N_a \gg N_d$, le matériau est de type P affirmé.

Pour $N_d \gg N_a$, le matériau est de type N affirmé.

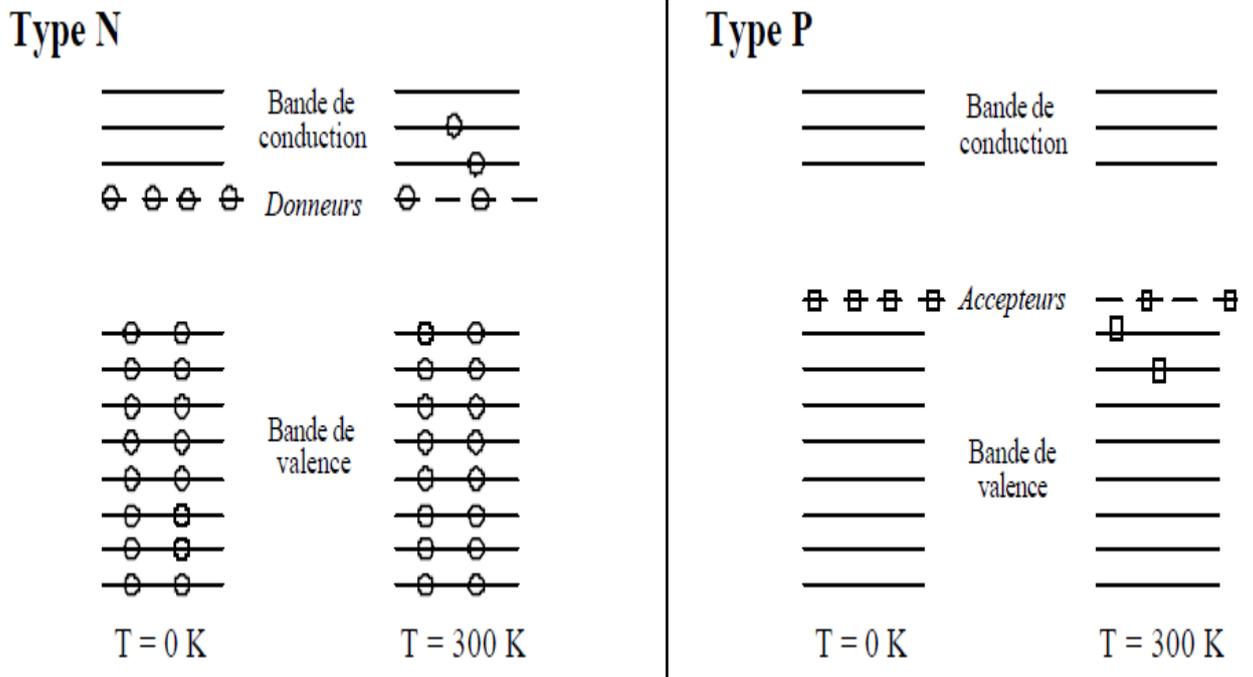


Figure I.11 : Bandes d'énergie des semi-conducteurs dopés

I.5. La jonction P-N

I.5.1. Jonction non polarisée

Une jonction PN est la mise en contact entre un semi-conducteur type N et un semi-conducteur type P issu d'un même cristal. La différence des densités de donneurs et d'accepteurs $N_D - N_A$ passe brusquement d'une valeur négative pour la région P à une valeur positive pour la région N. La loi de variation de cette différence est donnée

par deux constantes pour une jonction dite abrupte. Une jonction est constituée par la réunion de deux semi-conducteurs dopés P et N (jonction P-N). Les connexions avec le milieu extérieur sont réalisées par des contacts métalliques. Par construction, les jonctions entre métal et semi-conducteur sont purement ohmiques. En pratique, on part d'une plaque de silicium dopée N sur laquelle on crée en général par diffusion une zone dopée P. On sait donner à la zone de séparation entre les deux matériaux nommée la zone de transition, une épaisseur très faible (typiquement $0,5\mu\text{m}$). Dans cette zone, les taux de dopages et donc le nombre de porteurs libres varient avec la distance. Dans la zone P les porteurs majoritaires sont les trous. Les atomes accepteurs constituent un réseau d'ions négatifs. De même dans la zone N les porteurs majoritaires sont les électrons. Les atomes donneurs constituent un réseau d'ions positifs. Les trous ont tendance à gagner la zone N où ils se recombinent avec des électrons. De même des électrons de la zone N vont combler des trous de la zone P. Dans la zone de transition existe une charge d'espace due aux charges non compensées des noyaux des impuretés. En l'absence d'une polarisation externe, existe un champ électrique interne qui s'oppose au mouvement des porteurs majoritaires mais qui accélère les minoritaires. Il existe au niveau de la jonction une barrière de potentiel dont la hauteur est la différence entre les niveaux d'énergie des accepteurs et des donneurs. Les porteurs minoritaires induisent le courant de diffusion ; les porteurs majoritaires créent le courant de saturation. En l'absence de polarisation, ces deux courants sont égaux. Imaginons que l'on rapproche les deux barreaux de manière à réaliser leur contact physique au niveau d'une jonction dite métallurgique. On assisterait alors à deux phénomènes se manifestant de part et d'autre de l'interface PN [4]. Transitoire de durée très brève (figure I.12) à savoir diffusion des trous de la région P vers la région N. En effet comme les trous sont plus nombreux dans P que dans N, ils vont avoir tendance à diffuser pour rétablir l'équilibre. Les trous qui ont envahi la région N (où ils ont disparu par recombinaison avec les électrons majoritaires dans cette région) ont laissés derrière eux des ions fixes de bore ionisés négativement. De même, les électrons de la région N qui sont passés du côté P ont laissé derrière eux des ions fixes de phosphore ionisés positivement.

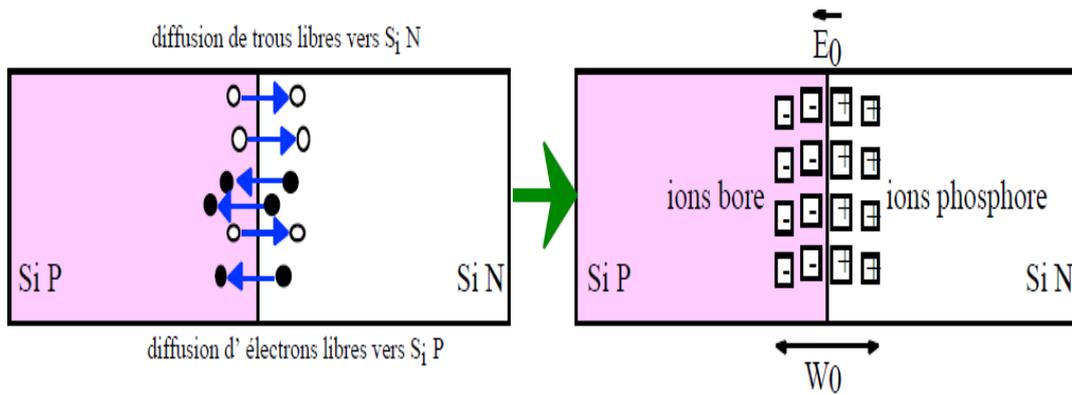


Figure I.12 : Diffusion de trous et d'électrons.

Ces ions fixes de Bore et de Phosphore chargés respectivement négative et positive, forment de part et d'autre de la jonction métallurgique, une barrière de potentiel V_{ϕ} qui provoque l'apparition d'un champ électrique interne E_0 dans une zone de charge d'espace (Z.C.E.) d'épaisseur W_0 .

On montre que la hauteur de barrière de potentiel V_{ϕ} et la largeur W_0 de la Z.C.E. qui s'étend principalement du côté le moins dopé sont telles que [22] :

$$V_{\phi} = U_T \ln \left(\frac{N_a N_d}{n_i^2} \right) \tag{I.32}$$

Où

$$U_T = \frac{kT}{q} = 25mV \text{ a } 25^{\circ}C$$

La largeur de la zone de transition est donnée par [23]:

$$W_0 = \sqrt{\frac{1}{q} 2 \epsilon_0 \epsilon_{si} \left(\frac{1}{N_a} + \frac{1}{N_d} \right) v_{\phi}} \tag{I.33}$$

L'anode et la cathode étant à la masse, la jonction est en court-circuit et son courant doit être nul. En effet la jonction (figure I.14) est traversée par deux courants opposés qui s'annulent :

- Le courant de saturation I_s qui correspond aux porteurs minoritaires des zones N (les trous) et P (les électrons) qui se présentent en bordure de la Z.C.E. et qui sont alors entraînés par le champ électrique E_0 respectivement dans les zones P et N.
- Le courant ayant pour origine les porteurs libres majoritaires de N et de P, très voisins de la Z.C.E., et dont l'énergie suffisante pour sauter la hauteur de barrière V_{ϕ} .

La population de ces porteurs, proportionnelle à $\exp\left(-\frac{V_\phi}{U_T}\right)$ conduit à un courant de la forme : $I_0 = \exp\left(\frac{V_\phi}{U_T}\right)$. Le courant total étant nul, il vient :

$$I_S = I_0 \exp\left(-\frac{V_\phi}{U_T}\right) \tag{I.34}$$

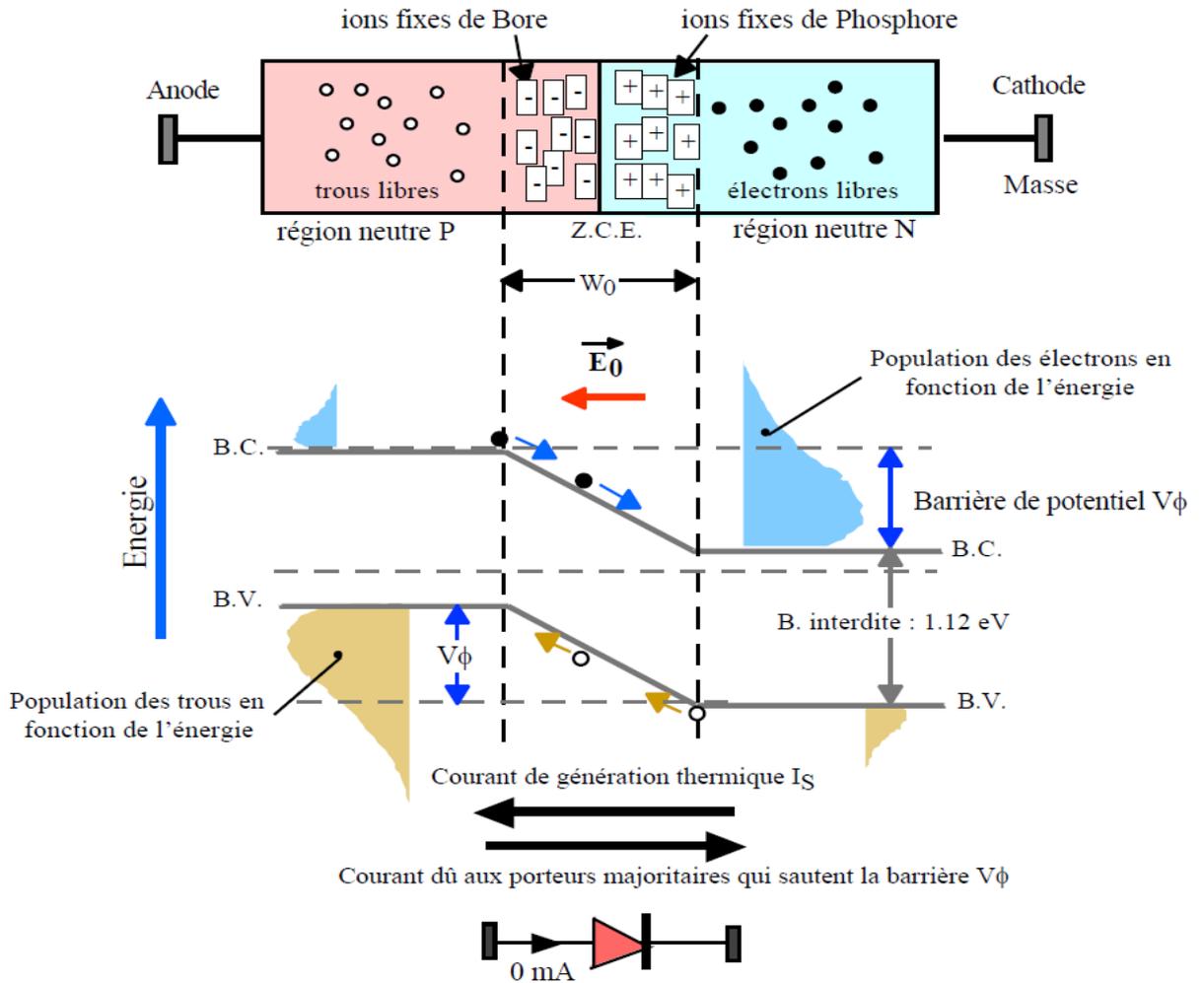


Figure I.13: Origine des courants opposés circulant dans la jonction PN en court-circuit.

On montre que dans un cristal semi-conducteur non soumis à une différence de potentiel et à l'équilibre thermique, quel que soit son dopage P ou N, les niveaux de Fermi associés, E_{F_p} et E_{F_n} , restent alignés dans le schéma de bandes. La figure I.14, qui représente le schéma de bandes d'une jonction PN en court-circuit, illustre ce principe.

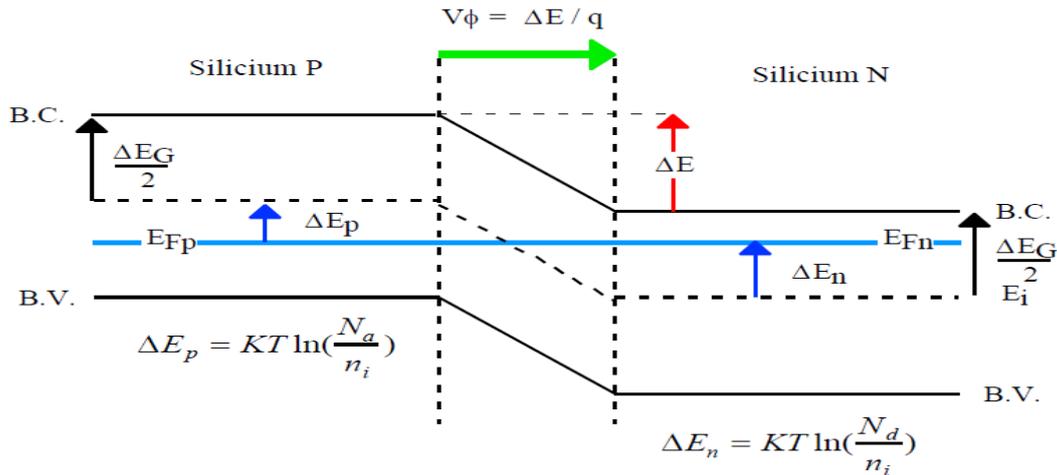


Figure I.14 : Schéma de bandes de la jonction PN en court-circuit.

Sachant que les niveaux de Fermi E_{Fp} et E_{Fn} respectivement associés aux côtés P et N sont alignés, la bande de conduction du silicium N est plus élevée que celle du silicium P. Il en est de même pour les bandes de valence. Ceci entraîne la présence d'une différence d'énergie ΔE entre ces bandes. On sait que la variation d'énergie potentielle ΔE d'un électron soumis à une différence de potentiel ΔV est telle que : $\Delta E = -q \Delta V$. Dans ces conditions, à la différence d'énergie ΔE entre les bandes, on fait correspondre une différence de potentiel interne appelée hauteur de barrière de potentiel V_ϕ telle que [22] :

$$V_\phi = \frac{KT}{q} \ln\left(\frac{N_A N_D}{n_i^2}\right) \quad (I.35)$$

Pour la jonction et à l'équilibre thermodynamique, le niveau de Fermi coté dopé P et coté dopé N est identique.

1.5.2. Jonction P-N polarisée en direct

Dans cette situation le champ externe créé par le générateur s'oppose au champ interne. Dès que le champ externe dépasse le champ interne, un courant des majoritaires s'établit à travers la jonction. Il existe pour une jonction P-N une tension de seuil qui est caractéristique du matériau. Pour le silicium par exemple la tension de seuil est égale $0.55V$ et pour le germanium est égale $1.15V$.

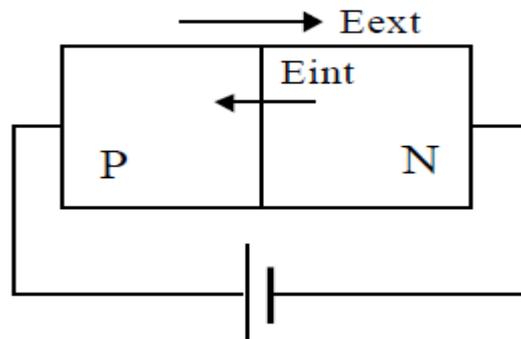


Figure I.15 : Polarisation direct

De nombreux électrons de la région N et de trous de la région P peuvent alors franchir cette barrière de potentiel et, se présentant alors dans un milieu hostile (P pour électrons et N pour les trous), ils sont recombinaison (figure I.16). Cette recombinaison consomme près de la Z.C.E. des trous dans la région P (des électrons dans la région N). Pour rétablir l'équilibre, les trous de la région neutre P se mettent en mouvement vers la zone où se produit la recombinaison. Les électrons de la région neutre N sont soumis à un phénomène analogue. C'est ce phénomène de recombinaison locale qui explique la circulation du courant direct I_A dans la jonction. Sachant que le courant de saturation I_S correspondant aux porteurs minoritaires des zones N et P qui se présentent en bordure de la Z.C.E. on obtient le courant total qui circule dans la jonction [23] :

$$I_A = I_S \left[\exp\left(\frac{V_{direct}}{U_T}\right) - 1 \right] \quad (I.36)$$

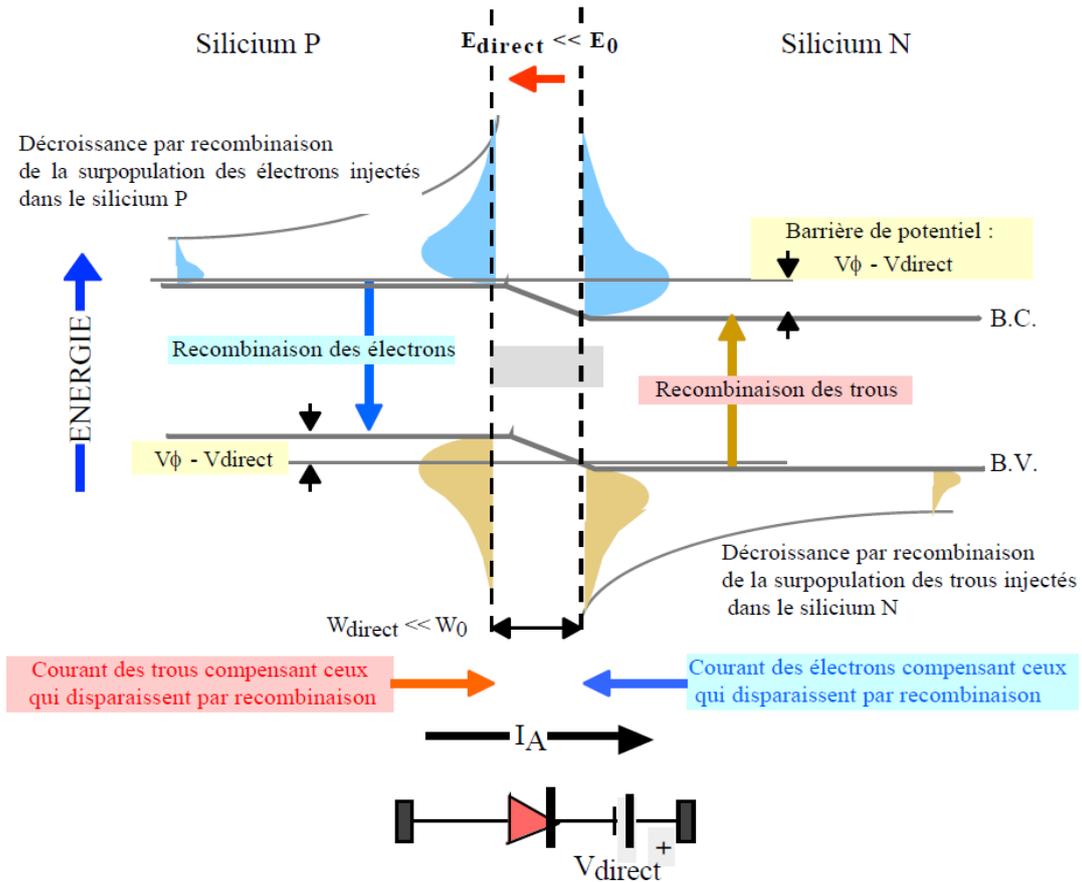


Figure I.16 : Jonction P-N polarisée en direct.

1.5.3. Jonction P-N polarisée en inverse

Dans cette situation, le champ électrique externe créé par le générateur de force électromotrice. V_{inv} s'ajoute au champ interne de la jonction la hauteur de la barrière de potentiel augmente. On montre que l'épaisseur d de la zone de transition est proportionnelle à V_{inv} . Seul un courant de minoritaires est possible à travers la jonction. C'est le courant inverse ou courant de fuite.

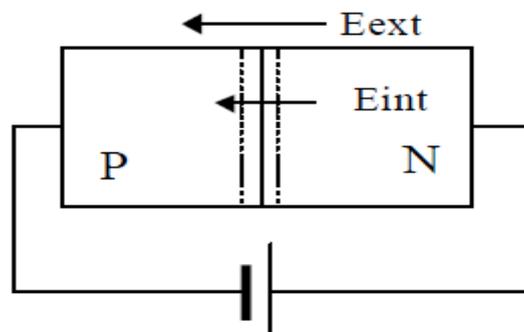


Figure I.17 : Polarisation inverse

Les porteurs majoritaires des régions N et P n'ont pas l'énergie nécessaire pour sauter cette barrière de potentiel. La jonction est alors traversée par le très faible courant de saturation I_S . Ce courant issu du phénomène d'ionisation thermique du silicium, dépend uniquement de la température.

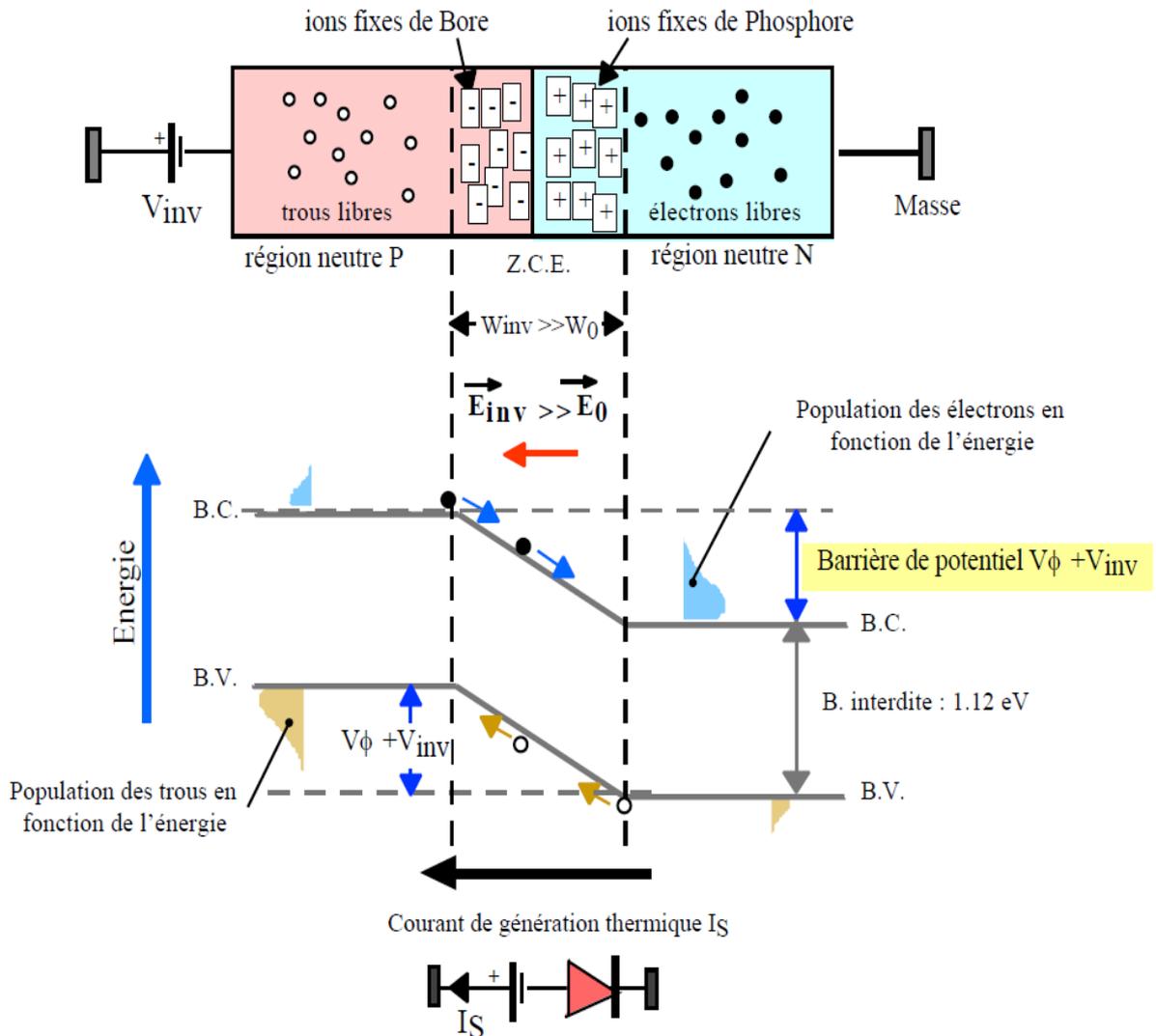


Figure I.18 : Origine du courant inverse de saturation d'une jonction bloquée.

I.6. Caractéristiques courant-tension

En dessous du seuil V_S le courant est très faible. Au-delà, on montre que le courant diode est lié au courant de saturation par [4] :

$$I_D = I_{sat} \left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right) \tag{I.37}$$

Le courant I_{sat} est appelé courant inverse car si la diode est polarisée en inverse ($V < 0$) $I_D = -I_{sat}$. Ce courant résulte du débit des charges (trous thermo générés et électrons) qui traversent la jonction sous l'action du champ électrique. Pour une jonction de surface S , le courant de saturation est donné par [4] :

$$I_{sat} = A \cdot S \cdot e \frac{-\Delta w}{KT} \quad (I.38)$$

A : Constante en fonction de dopage.

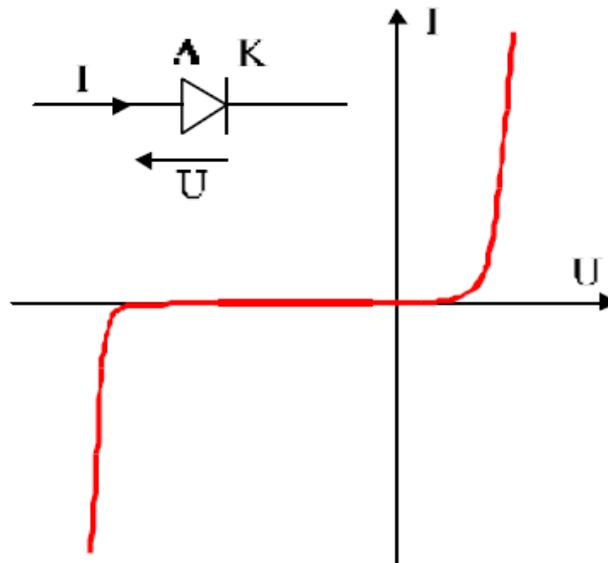
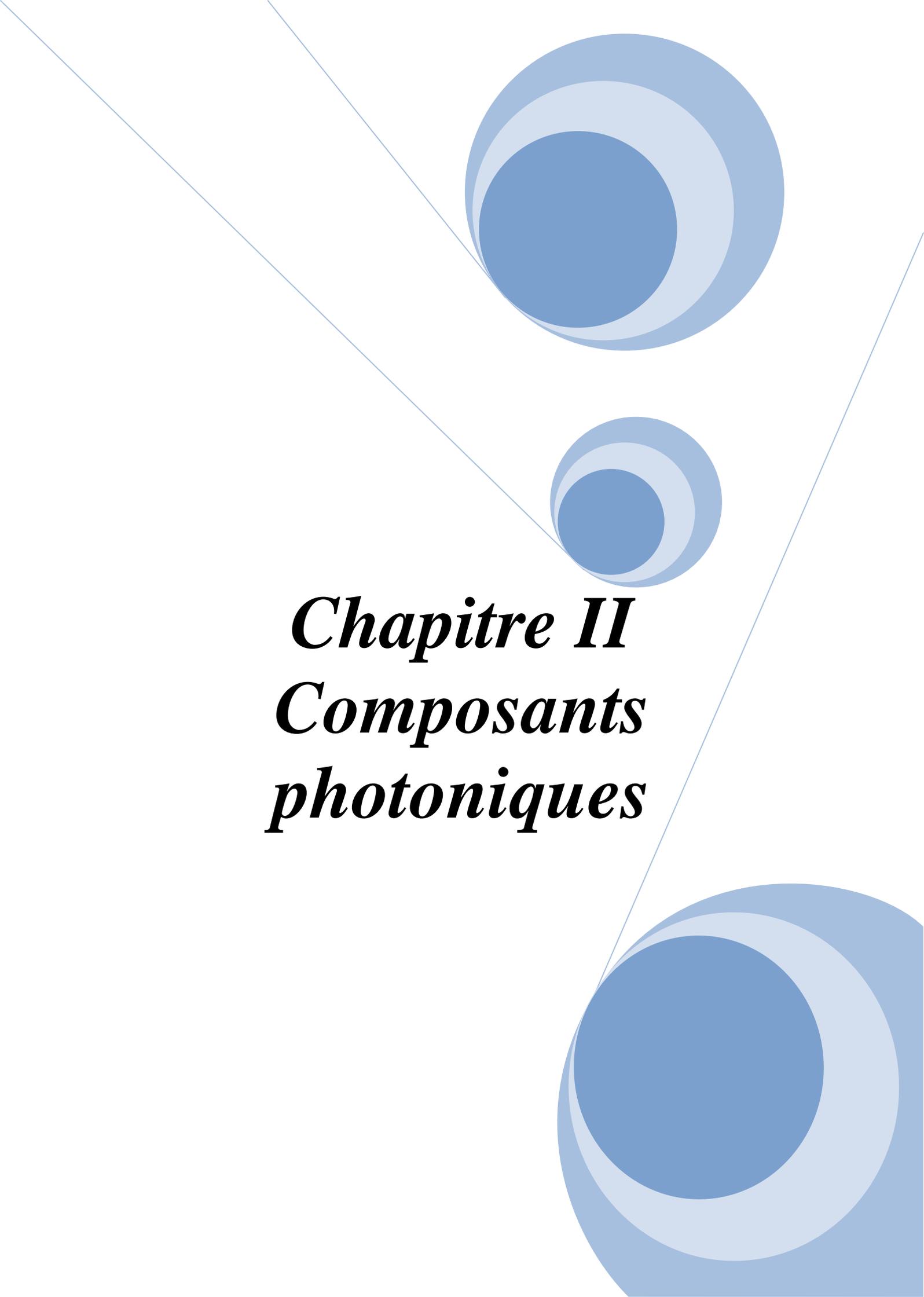


Figure I.19 : Caractéristiques I-V.

The background features a white page with three blue circular elements of varying sizes, each composed of concentric circles in different shades of blue. These circles are arranged along a diagonal path from the top-left towards the bottom-right. Two thin, light blue lines intersect at the top-left corner, forming a V-shape that frames the central text.

Chapitre II
Composants
photoniques

II.1. Introduction

Lorsqu'un rayonnement électromagnétique traverse la matière, son énergie est absorbée par les électrons. Dans le cas d'un semi-conducteur, l'énergie des photons, si leur longueur d'onde leur permet, est absorbée par les électrons de la bande de valence qui sont excités vers la bande de conduction. Le courant inverse d'une jonction PN est fonction d'une part des densités de porteurs minoritaires dans les régions neutres de la diode, et d'autre part de la génération de paires électron-trou dans la zone de charge d'espace.

II.2. Diode électroluminescente

II.2.1. Définition

Une diode électroluminescente abrégé sous les sigles DEL ou LED (de l'anglais Light Emitting Diode), est un composant optoélectronique capable d'émettre de la lumière lorsqu'il est parcouru par un courant électrique. Une diode électroluminescente ne laisse passer le courant électrique que dans un seul sens (le sens passant, comme une diode classique, l'inverse étant le sens bloquant) de plus elle produit un rayonnement monochromatique ou poly-chromatique incohérent à partir de la conversion d'énergie électrique lorsqu'un courant la traverse. Leur robustesse, leur faible consommation et leur longue durée de vie leur confèrent un attrait indéniable. Du fait de leur utilisation croissante, et comme pour toutes les autres sources lumineuses, les LED ont besoin d'être caractérisées. Cette tâche n'est pas aisée puisqu'elles possèdent des répartitions spatiales et spectrales qui peuvent énormément différer d'une diode à l'autre. De plus la stabilité de l'intensité lumineuse en sortie de la diode est soumise, à la stabilité d'une part du courant qui la traverse et, d'autre part, à sa température. Pour la fabrication d'une LED il faut donc choisir un matériau à transition directe dont la largeur de bande interdite est supérieure ou égale à $h\nu$, ν étant la fréquence de la radiation émise. Ces matériaux semi-conducteur binaires (AsGa, InP,...) ou tertiaires ($\text{GaP}_x\text{As}_{1-x}$, $\text{AsIn}_x\text{Ga}_{1-x}$,...) couvrent une région du spectre allant du vert (0.55 μm) à l'infrarouge lointain (8.5 μm). Les niveaux d'énergie introduits dans la bande interdite par les impuretés de dopage peuvent aussi jouer un rôle important dans le processus de recombinaison radiative d'une jonction LED [24].

II.2.2. Principe de fonctionnement

Lorsqu'une jonction P-N est polarisée dans le sens direct, les électrons, qui sont majoritaires dans la région de type N, sont injectés dans la région de type P où ils se

recombinent avec les trous. Inversement pour les trous. La structure de base d'une diode électroluminescente, est une jonction P-N réalisée à partir de semi-conducteurs dans lesquels les recombinaisons des porteurs excédentaires sont essentiellement radiatives. La structure type d'une diode électroluminescente et son principe de fonctionnement sont représentés sur la figure II.1.

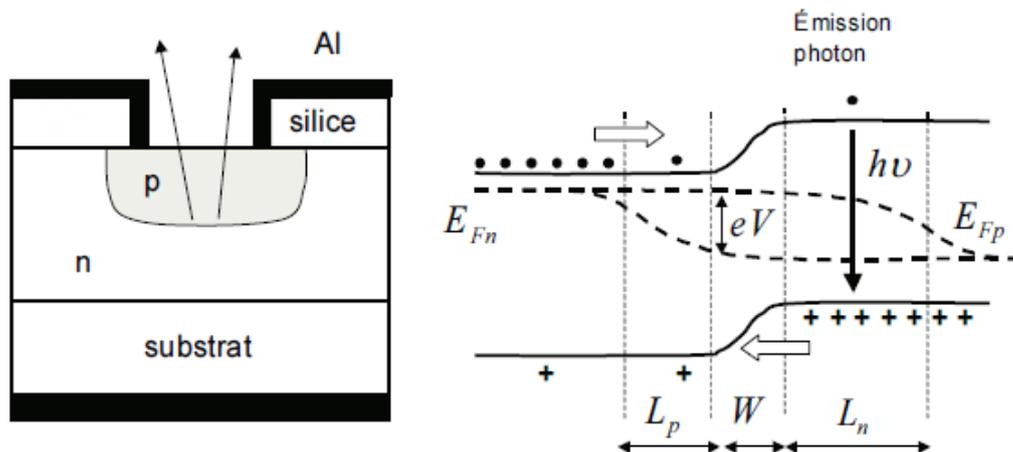


Figure II.1 : Diode électroluminescente.

Les recombinaisons des porteurs excédentaires se manifestent dans trois régions différentes qui sont d'une part la zone de charge d'espace, et d'autre part les régions neutres N et P. Dans chacune de ces dernières, la zone émettrice est limitée à la longueur de diffusion des porteurs minoritaires. La zone de charge d'espace joue quant à elle un rôle mineur dans la mesure où elle est pratiquement inexistante en raison du fait que la jonction est fortement polarisée dans le sens direct. C'est lors de la recombinaison d'un électron et d'un trou dans un semi-conducteur qu'il y a émission d'un photon. En effet, la transition d'un électron entre la bande de conduction et la bande de valence peut se faire avec la conservation du vecteur d'onde d'un photon. Dans une transition émissive, l'énergie du photon créé est donnée par la différence des niveaux d'énergie avant (E_i) et après (E_f) la transition [10] :

$$h\nu = E_i - E_f \text{ (eV)} \quad (\text{II.1})$$

La face émettrice de la LED est la zone P car c'est la plus radiative du fait qu'elle contient la zone de recombinaison (figure II.2).

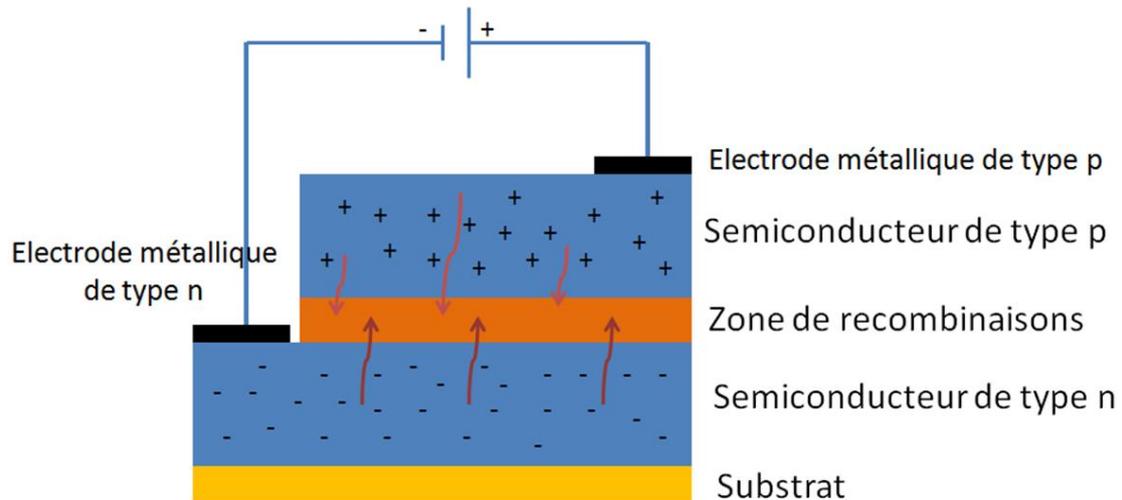


Figure II.2 : Principe de fonctionnement de la LED

II.2.3. Rendement lumineux de la diode électroluminescente

Le rendement global d'une LED est par définition le rapport de la puissance lumineuse émise sur la puissance électrique consommée. C'est donc le produit de la tension appliquée V_a par le courant traversant la jonction; le courant étant le nombre d'électrons passant la jonction par seconde multiplié par la charge de l'électron [25].

$$\eta = \frac{\text{Puiss. lumineuse}}{\text{Puiss. électrique}} = \frac{h\omega \cdot \text{Nbre de photons émis/sec}}{qV_a \cdot \text{Nbre d'é passant la jonction/sec}} \quad (\text{II. 2})$$

En introduisant le nombre de photons créés en le multipliant au numérateur et au dénominateur, nous faisons apparaître le rendement interne (η_i) qui n'est autre que le rapport du nombre de photons créés sur le nombre d'électrons passant dans la jonction (ce dernier étant le nombre de paires électron-trou créées). Le quotient du nombre de photons émis sur le nombre de photons créés définit le rendement optique (η_{opt}). L'expression du rendement global d'une LED est donnée par [25] :

$$\eta = \frac{h\omega}{qV_a} \frac{\text{Nbre de photons émis/sec}}{\text{Nbre de photons créés/sec}} \frac{\text{Nbre de photons créés/sec}}{\text{Nbre d'é passant/sec}} \quad (\text{II. 3})$$

$$\eta = \frac{h\omega}{qV_a} \eta_{opt} \eta_{int} \quad (\text{II. 4})$$

Le rendement lumineux (ou l'efficacité lumineuse ; quantité de ce que l'œil voit (lumen) sur ce que la source lumineuse consomme (*Watt*)). Ce rapport est exprimé en lumen par Watt (lm/W), selon les types de diodes, ce rendement est variable, généralement compris entre **20** et **100 lm/W** , et atteint en laboratoire les **160 lm/W** . Une grande disparité dans les performances est présente selon la couleur, la puissance. Les bleues n'excèdent pas les **30 lm/W** alors que les vertes peuvent avoir une efficacité lumineuse bien plus élevée, **100 lm/W** . Les effectués dans la recherche et développement des LED blanches leur ont permis d'être aussi efficaces.

II.2.4. Structure et technique de fabrication des diodes électroluminescentes

Certains paramètres sont communs à tous les types d'utilisation, c'est le cas en particulier du rendement quantique interne. Un bon rendement interne η_i passe par une grande durée de vie non radiative. Ceci nécessite la réalisation de matériaux de très bonnes qualités chimique et cristallographique, ce qui impose pratiquement la réalisation de couches épitaxiales. Pour augmenter le rendement optique d'autre part, on réalise la couche émettrice de type p en surface, avec une épaisseur optimum $d_p \approx 3 L_n$

Où

L_n est la longueur de diffusion des électrons.

La structure interne d'une diode électroluminescente à émission orange est représentée sur la figure (II.3).

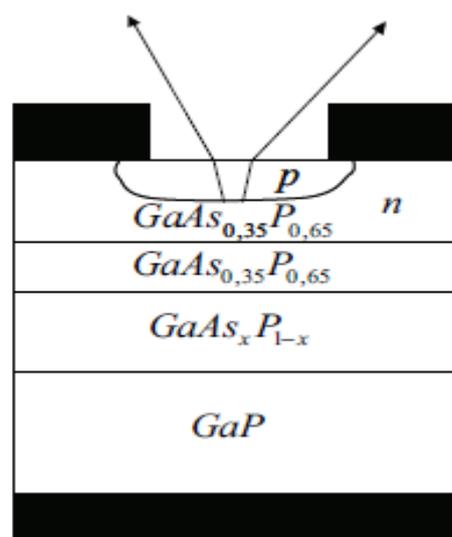


Figure II.3 : Diode électroluminescente orange.

Elle est constituée d'un substrat de GaP de type N, qui sert de support à la couche active et assure de bonnes conductivités électrique et thermique, vers l'électrode métallique. Une couche de $GaAs_xP_{1-x}$ où x varie de 0 à 0,35 sert d'interface en réalisant l'accord de maille entre le substrat et la couche active. La couche active est réalisée par une jonction P-N au $GaAs_{0,35}P_{0,65}$, dont la région de type P, de quelques microns d'épaisseur, constitue la face de sortie de la diode. Le contact métallique supérieur doit avoir une surface et une géométrie assurant à la fois une bonne homogénéité du courant et une surface émettrice suffisante. La structure ainsi réalisée est ensuite encapsulée dans un dôme de résine transparente ou translucide. Ce dôme a trois fonctions essentielles, il protège la structure et surtout le fil de connexion, il augmente le rendement optique en réduisant la discontinuité d'indice entre le semi-conducteur et l'air extérieur, il conditionne la distribution spatiale du rayonnement émis. La résine utilisée est une résine époxy à deux composants. Les diodes sont encapsulées à partir de barrettes d'une vingtaine d'éléments et la forme du dôme est fixée par un moule de polypropylène. L'encapsulation standard consiste en un cylindre terminé par un dôme hémisphérique jouant le rôle de lentille (figure II.4). La distribution spatiale du rayonnement émis est fonction de la hauteur du dôme par rapport à la surface active, la diode est d'autant plus directive que le dôme est éloigné [10].

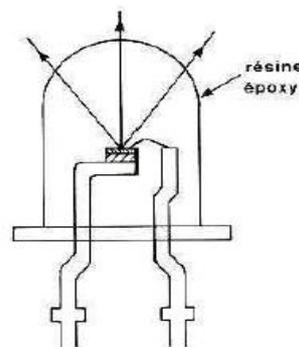


Figure II.4 : Encapsulation d'une LED.

La longueur d'onde du rayonnement émis est déterminée par la largeur de la bande interdite et dépend donc du matériau utilisé. Toutes les valeurs du spectre lumineux peuvent être atteintes avec les matériaux utilisés. Pour obtenir de l'infrarouge, le matériau adapté est l'arséniure de gallium (GaAs) avec comme dopant du silicium (Si) ou du zinc (Zn). Les fabricants proposent de nombreux types de diodes aux

spécificités différentes. On peut citer le type le plus répandu : les diodes à l'arséniure de gallium, ce sont les plus économiques et ont un usage général. Les diodes à l'arséniure de gallium-aluminium (AlGaAs) offrent une plus grande puissance de sortie, ont une longueur d'onde plus courte ($< 950 \text{ nm}$, ce qui correspond au maximum de sensibilité des détecteurs au silicium). Enfin, les diodes à double hétérojonction (DH) AlGaAs offrent les avantages des deux techniques précédentes [25]. Le tableau suivant montre les différents semi-conducteurs utilisés pour fabriquer les diodes électroluminescentes à différentes longueurs d'onde.

Couleur	Longueur d'onde (nm)	Tension de seuil (V)	Semi-conducteur utilisé
Infra Rouge	$\lambda > 760$	$\Delta V < 1.63$	AlGaAs
Rouge	$610 < \lambda < 760$	$1.63 < \Delta V < 2.03$	AlGaAs GaAsP
Orange	$590 < \lambda < 610$	$2.03 < \Delta V < 2.10$	GaAsP
Jaune	$570 < \lambda < 590$	$2.10 < \Delta V < 2.18$	GaAsP
Vert	$500 < \lambda < 570$	$2.18 < \Delta V < 2.48$	GaN GaP
Bleu	$450 < \lambda < 500$	$2.48 < \Delta V < 2.76$	ZnSe InGaN SiC
Violet	$400 < \lambda$	$2.76 < \Delta V < 3.1$	
Ultraviolet	$\lambda < 400$	$\Delta V > 3.1$	C AlN AlGaN

Tableau II.1 : Diodes électroluminescentes à différents couleurs.

II.2.5. Différentes familles des diodes électroluminescentes

Il existe plusieurs manières de classer les électroluminescentes, on peut citer deux classement :

A/ Classement selon la puissance

Les diodes électroluminescent de faible puissance $< 1W$, ce sont les plus connues du grand public car elles sont présentées dans notre quotidien depuis des années. Ce sont elles qui jouent le rôle de voyant lumineux sur les appareils électroménagers par exemple. Les LED de forte puissance $> 1W$, souvent méconnues du grand public, elles sont pourtant en plein essor et leurs applications sont souvent ignorées : flash de téléphones portables, éclairage domestique, éclairage de spectacle, lampe de poche ou frontales. Le principe de fonctionnement est pratiquement équivalent ; toutefois certaines différences significatives existent entre les deux familles. Elles disposent chacune d'un champ d'application spécifique [24].

B/ Classement selon le spectre d'émission

Une autre manière de les classer est de considérer la répartition de l'énergie dans la gamme de longueur d'onde couvrant le visible (longueurs d'ondes de l'ordre de 380-780 nm) ou l'invisible (principalement l'infrarouge).

- **Les LED blanches** : l'énergie est répartie dans le visible sur toute la gamme de longueurs d'onde 380-780 nm environ.
- **Les LED infrarouges** : l'énergie est au-delà du spectre visible de la lumière, utilisé par exemple pour faire du positionnement (console wifi), des télécommandes, de l'éclairage pour caméra infrarouge etc.

II.2.6. Avantages et inconvénients des diodes électroluminescentes

Les avantages des diodes électroluminescentes sont nombreux à savoir :

- Facilité de montage sur un circuit.
- Consommation inférieure aux lampes à incandescence et du même ordre de grandeur que les tubes fluorescents.
- Excellente résistance mécanique (chocs, écrasement, vibrations).
- Taille beaucoup plus réduite que les lampes classiques ce qui offre la possibilité de réaliser des sources de lumière très ponctuelles, de faible à très faible consommation électrique (quelque dizaines de milliwatts)

et avec un bon rendement. En assemblant plusieurs LED, on peut réaliser des éclairages avec des formes novatrices.

- Durée de vie beaucoup plus longue qu'une lampe à incandescence classique ou même qu'une lampe fluorescente (20 000 à 50 000 heures environ contre 5000 à 15000 heures pour les lampes fluorescentes et 1000 heures pour les lampes à incandescence).
- Fonctionnement en très basse tension (TBT), plus de sécurité et de facilité de transport.
- Par rapport aux systèmes lumineux classiques, elles s'allument et s'éteignent en un temps très court, ce qui permet l'utilisation en transmission de signaux à courte distance (opto-coupleurs) ou longue (fibres optiques).
- Vu leur puissance, les LED classiques ne chauffent presque pas et ne brûlent pas les doigts. Pour les montages de puissance supérieure à 1W, il faut prévoir une dissipation de la chaleur pour éviter l'endommagement la diode. En effet, une diode électroluminescente convertit environ **20%** de l'énergie électrique en lumière, le reste étant dégagé sous forme de chaleur.

Les inconvénients des diodes électroluminescentes ne sont pas nombreux, on peut citer par exemple :

- L'existence d'effets sanitaires liés à l'usage des LED. La forte proportion de lumière bleue des LED pourrait être à l'origine de lésions oculaires.
- Prix d'achat des LED reste plus élevé que celui des lampes classiques, à luminosité égale mais devrait baisser rapidement compte-tenu du développement rapide.
- La LED étant un semi-conducteur, elle est affectée par la température : plus elle chauffe, plus sa tension directe de jonction décroît, et son rendement lumineux se dégrade. Cela pose des problèmes de fiabilité si une mise en œuvre thermique adéquate n'est pas réalisée (pour les modèles de puissance).

II.2.7. Différentes utilisation des diodes électroluminescentes

Les trois principales utilisations des LED sont l'affichage, les photocoupleurs et les télécommunications par fibres optiques. Dans le premier cas, une émission visible de couleur déterminée, qui fixe le gap du matériau utilisé, et une surface émettrice de

dimension suffisante, qui conditionne le mode d'encapsulation. Dans un photocoupleur, la diode électroluminescente est montée en regard d'un phototransistor au silicium dans un boîtier unique. Cette structure qui présente généralement une isolation électrique de l'ordre de **2000 volts** permet de transmettre des signaux variables entre deux circuits entièrement isolés l'un de l'autre. Ces photocoupleurs sont essentiellement utilisés pour la transmission à grande vitesse de signaux logiques. Dans ces systèmes, la caractéristique essentielle de la diode est évidemment un spectre d'émission compatible avec la réponse spectrale du silicium, on utilise généralement des diodes au GaAsP. Dans les télécommunications par fibres optiques, le but recherché est une émission centrée dans les fenêtres de transparence et de faible dispersion des fibres, $\lambda = 1,3 \mu m$ et $\lambda = 1,55 \mu m$, une grande brillance c'est-à-dire une forte luminosité à partir d'une faible surface, compatible avec les dimensions des fibres, et enfin une bonne possibilité de modulation [10].

II.3. Photodiode

II.3.1. Définition

C'est une jonction P-N polarisée en inverse. Lorsque cette jonction est dans l'obscurité, elle est le siège d'un courant de fuite que l'on appelle courant d'obscurité. Si l'on illumine cette jonction avec une radiation de longueur d'onde suffisamment faible, il y a création de paires électron-trou au sein du cristal. Les porteurs ainsi générés sont balayés par le champ électrique présent dans la zone de déplétion. Il en résulte un courant électrique proportionnel à la densité du flux de photons incident. En fait, le circuit se comporte comme un générateur de courant commandé par la lumière. L'absorption de la lumière dans le silicium décroît lorsque la longueur d'onde augmente. Cependant, lorsque la longueur d'onde de la radiation incidente décroît, une plus grande quantité de paires électron-trou est générée près de la surface. De ces deux phénomènes contradictoires, il résulte une sensibilité maximale de la photodiode pour une certaine longueur d'onde. Dans la pratique les photodiodes ne sont jamais utilisées seules du fait de la faiblesse du courant qu'elles peuvent délivrer. Elles sont donc généralement associées à un amplificateur qui est souvent intégré à la même puce. Les caractéristiques du composant ainsi formé deviennent alors celles de l'ensemble photodiode et amplificateur [26].

II.3.2. Principe de fonctionnement

Un photon d'énergie $h\nu$ peut créer une paire électron-trou par effet photoélectrique. Le courant inverse d'une jonction P-N est fonction d'une part des densités de porteurs minoritaires dans les régions neutres de la diode, et d'autre part de la génération de paires électron-trou dans la zone de charge d'espace. Dans une photodiode, le rayonnement augmente le courant inverse par la création de porteurs minoritaires dans les régions neutres et la génération de paires électrons-trous dans la zone de charge d'espace (figure II.5).

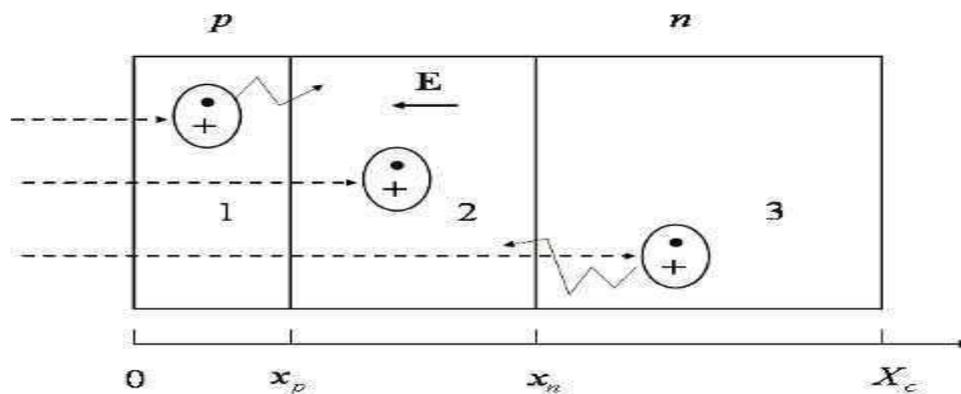


Figure II.5: Principe de la photodiode.

Les photons incidents créent des porteurs dans chacune des régions 1, 2 et 3. Le comportement de ces porteurs libres diffère suivant le lieu de leur création. Dans les régions électriquement neutres p et n, les photoporteurs minoritaires diffusent, ceux qui atteignent la zone de charge d'espace sont propulsés par le champ électrique vers la région où ils deviennent majoritaires. Ces photoporteurs contribuent donc au courant par leur diffusion, ils créent un photocourant de diffusion. Dans la zone de charge d'espace, les paires électrons-trous créées par les photons sont dissociées par le champ électrique, l'électron est propulsé vers la région de type n et le trou vers la région de type p. Ces porteurs donnent naissance à un photocourant de génération. Ces différentes contributions s'ajoutent pour créer un photocourant résultant I_{ph} qui contribue au courant inverse de la diode [24]

$$I = I_s \left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right) - I_{ph} \quad (\text{II.5})$$

II.3.3. Caractéristique de la photodiode

Le photocourant est pratiquement indépendant de la tension de polarisation. Dans la pratique, on mesure soit le photocourant débité par la diode, soit le photovoltage qui apparaît aux bornes de la diode (figure II.6).

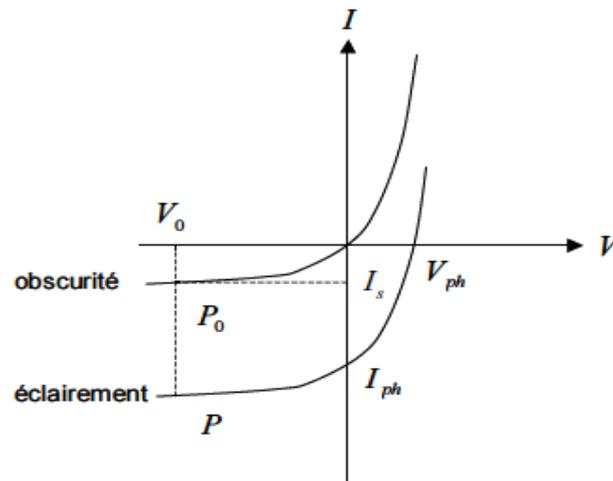


Figure II.6: Courant d'une photodiode à l'obscurité et sous éclaircissement.

Dans le premier cas, la diode est polarisée en inverse par une tension négative V_0

Dans la mesure où $-V_0 \gg kT/e$, l'expression (II.5) s'écrit [10] :

$$I = -(I_s - I_{ph}) \quad (\text{II.6})$$

Dans la pratique I_s est très inférieur à I_{ph} de sorte que le courant mesuré est égal au photocourant et par suite proportionnel au rayonnement incident. Dans le mode photovoltaïque la diode est connectée aux bornes d'un voltmètre, le courant est alors nul.

II.3.4. Différents types de photodiode

A/ Photodiode à homojonction PN

A partir d'un matériau semi conducteur tiré ou déposé par épitéxie on réalise une jonction par diffusion. Dans ce genre de structures la grande partie de l'absorption des photons se réalise en dehors de la zone de charge d'espace [21].

B/ Photodiodes pin

On augmente artificiellement la valeur de W_0 en intercalant une région intrinsèque entre les régions de type n et de type p (figure II.7). Si la polarisation inverse de la structure est suffisante, un champ électrique important existe dans toute la zone intrinsèque et les photoporteurs atteignent très vite leur vitesse limite V_S . On obtient

ainsi des photodiodes rapides et très sensibles. La structure pin est la photodiode la plus commune.

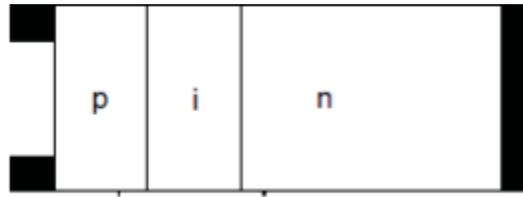


Figure II.7: Photodiode pin.

C/ Photodiode à avalanche

Lorsque la polarisation inverse de la photodiode est voisine de la tension de claquage, les photoporteurs créés dans la zone de charge d'espace sont multipliés par effet d'avalanche. Le gain ainsi obtenu est facilement supérieur à 100, toutefois certaines précautions doivent être prises dans le circuit de polarisation car ce gain est très sensible à la tension de polarisation et à la température. Les photodiodes à avalanche sont utilisées dans les systèmes de télécommunication par fibres optiques

D/ Photodiode Schottky

La diode Schottky est obtenue par dépôt d'une fine couche métallique sur base semi conducteur. Ces photodiodes à jonction métal-semi conducteur présentent par rapport aux structures classiques l'avantage d'avoir un domaine spectral plus étendu [5]. Une photodiode Schottky est constituée d'un substrat de silicium de type n, sur lequel est déposée une couche mince métallique, généralement de l'or. On réalise ainsi une barrière de Schottky. Lorsque le rayonnement crée des paires électron-trou dans la zone de charge d'espace du semi-conducteur, la diode est le siège d'un photocourant de génération analogue à celui de la photodiode à jonction P-N. L'avantage de la photodiode Schottky réside dans le fait que la couche métallique, si elle est suffisamment mince, est transparente au rayonnement dans le domaine du proche ultraviolet.

E/ Photodiode à hétérojonction

C'est une structure qui associe deux semi conducteurs à gaps différents. On dépose par épitaxie sur un matériau semi conducteur de type donné (P par exemple) un autre matériau de gap différent et de type opposé. Parmi les photodiodes à hétérojonction on peut citer les diodes à Te-Ge ; Te-Si ; InSb-InAs ; Ge-GaAs [21].

The page features a decorative design with three overlapping blue circles of varying sizes. The largest circle is at the top right, a smaller one is in the middle, and another large one is at the bottom right. Two thin blue lines intersect at the center, forming an 'X' shape that passes through the circles.

Chapitre III
Résultats et discussion

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats expérimentaux obtenus durant ce travail concernant la caractérisation électrique et optique de quatre diodes électroluminescentes de différente la longueur d'onde. Il s'agit des caractéristiques courant-tension, puissance-courant et réponse spectrale.

III.2. Logiciel LabView

LabView (**L**aboratory **V**irtual **I**nstrument **E**ngineering **W**orkbench) est un environnement de développement graphique qui permet de créer des applications modulaires et extensibles pour la conception d'applications, le contrôle et le test. Il est un outil d'acquisition, d'analyse et de présentation de données. Les VIs, ou instruments virtuels, sont des programmes LabView qui contrôlent les instruments physiques. Dans LabView, vous construisez une interface utilisateur à l'aide d'un ensemble d'outils et d'objets. L'interface utilisateur d'un VI est appelée la face-avant. Ensuite, vous créez le code en utilisant des représentations graphiques de fonctions pour commander les objets de la face-avant [27].

Un VI contient les deux composantes suivantes :

- ***Face-avant***

La partie d'un VI servant d'interface avec l'utilisateur est la face-avant. La face-avant contient les commandes et les indicateurs qui sont respectivement les entrées et sorties de l'instrument. L'utilisateur de LabView choisit les quels types de commandes et d'indicateurs il ajoute à sa face-avant de manière à ce que leur représentation graphique soit intuitive, pertinente et facilement utilisable [28].

- ***Diagramme***

La partie d'un VI servant à la programmation est le diagramme. Ce dernier contient les éléments de programmation, c'est-à-dire les terminaux, les constantes, les fonctions mathématiques et analytiques et les fils connectant chacun des éléments du diagramme. L'utilisateur de LabView choisit de quelle manière sont connectés les éléments et les fonctions qui les relie. Dans le diagramme, l'ordre de l'exécution du programme se fait de gauche à droite, ou plus précisément des terminaux d'entrée vers les terminaux de sortie [28].

La figure suivante montre un exemple de face-avant et le diagramme.

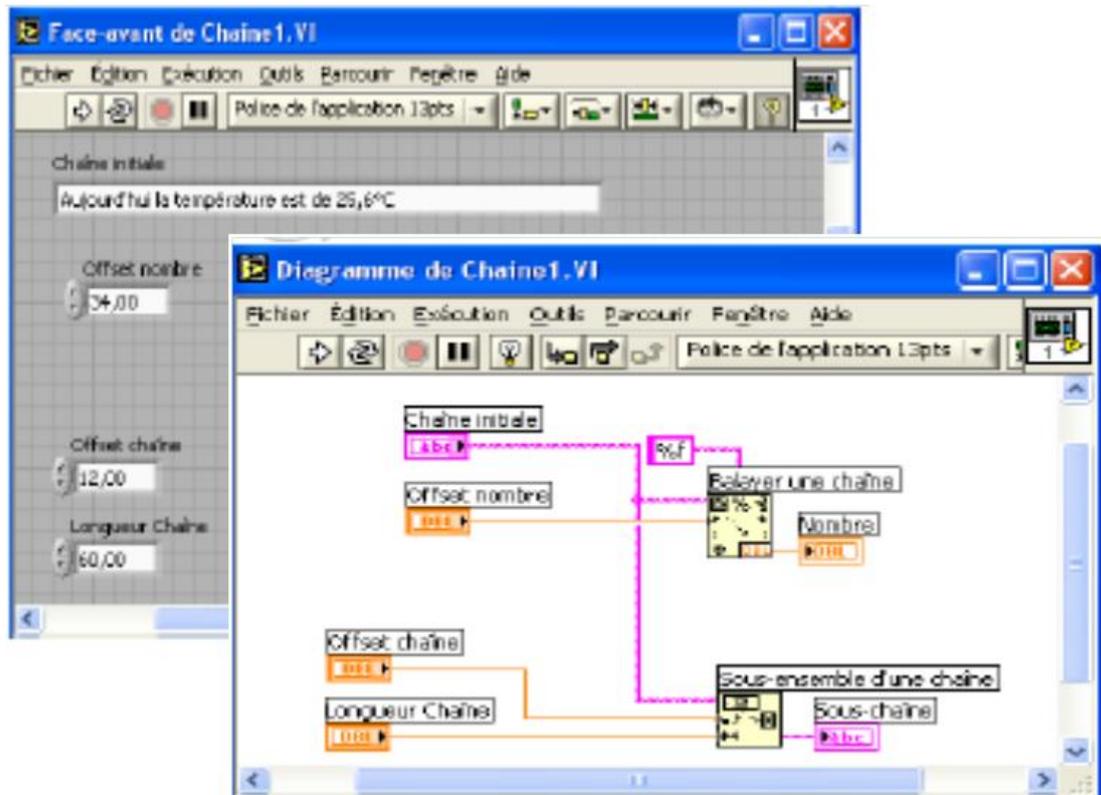
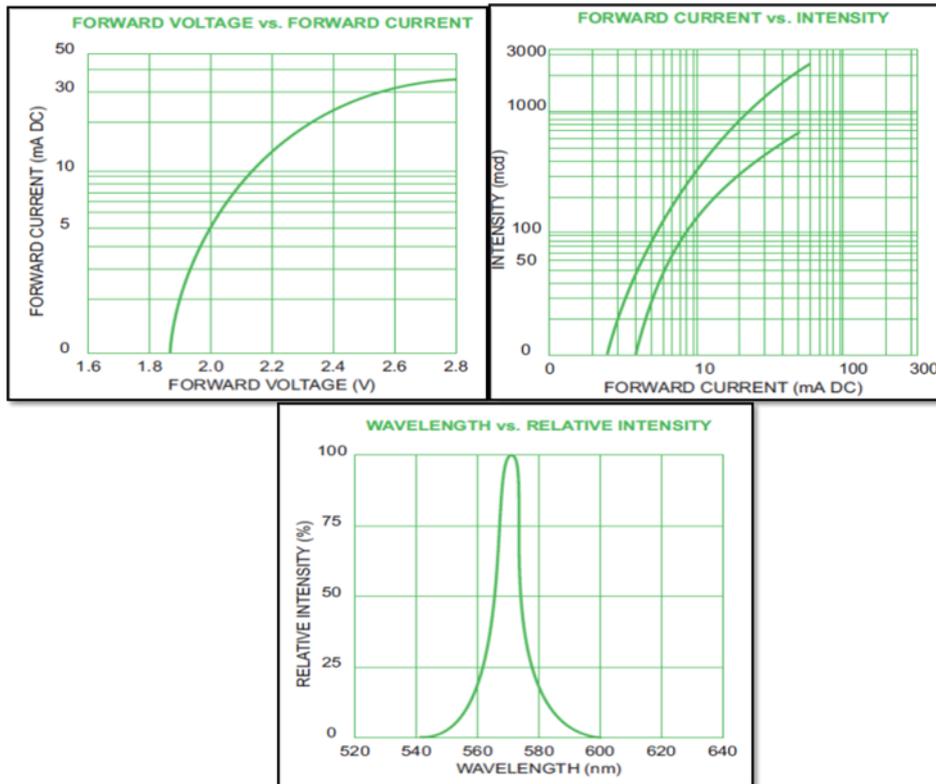


Figure III.1 : Face-avant et le diagramme de LabView.

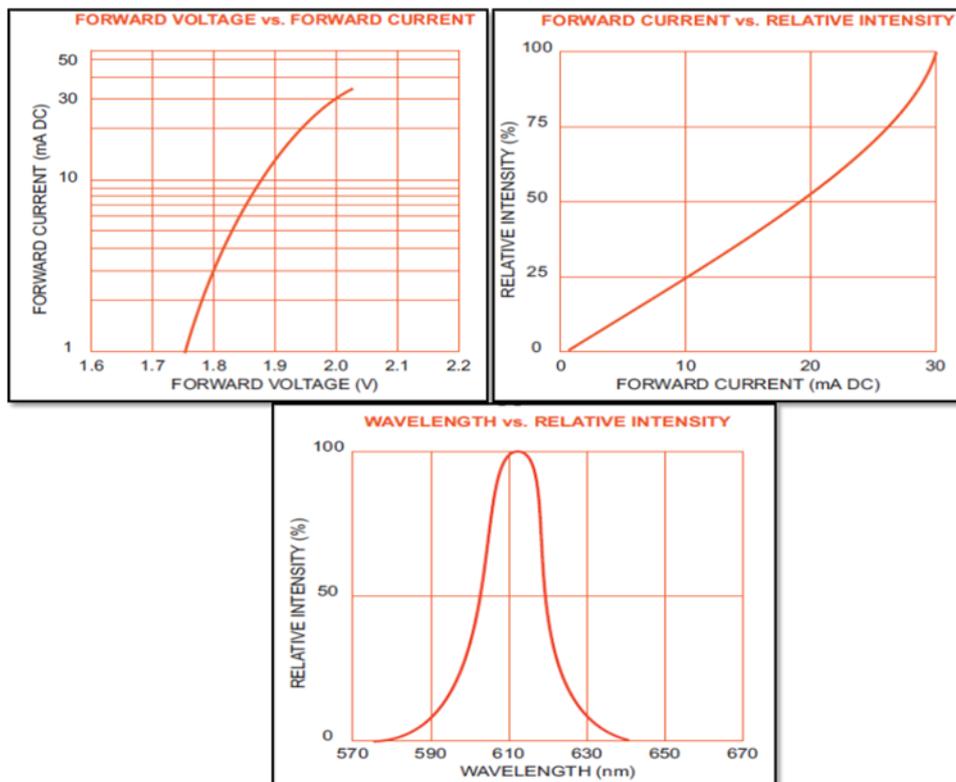
III.3. Echantillons

On à quatre LEDs avec longueur d'onde différent : 565nm, 590nm, 612nm, 660nm. Les figures suivantes représentent les caractéristiques de deux LEDs (565nm, 660nm) données par le constructeur.

➤ *LED 565 nm:*



➤ *LED 612 nm :*



III.4. Etude expérimental

Notre objectif principal est de mesurer automatiquement les caractéristiques électriques et optiques des diodes électroluminescentes. Pour cette raison, on a choisi quatre diodes électroluminescentes à longueur d'onde différente.

III.5. Caractéristiques courant-tension et puissance optique-courant

III.5.1. Instrumentations

Les instruments utilisés pour déterminer les caractéristiques courant-tension et puissance optique-courant de nos diodes électroluminescentes sont :

➤ ***Source d'alimentation et de mesure Keithley 2400***

L'instrument Keithley 2400 est une source d'alimentation de tension entre 5 μ V et 210V et de courant entre 50pA et 1,05A et en même temps un appareil de mesure de tension entre 1 μ V et 211V et de courant entre 10pA et 1,055A. Il peut être commandé par LabView via un câble GPIB-USB ou un câble RS232.

➤ ***Pico-ampèremètre Keithley 485***

L'instrument Keithley 485 est un appareil de mesure de courant de très faible valeur de l'ordre de pico. Il peut être commandé par LabView via un câble GPIB-USB ou un câble RS232.

➤ ***Détecteurs***

Deux détecteurs sont utilisés au cours de ce présent travail. Il s'agit de deux photodiodes BPX65 et détecteur ORIEL dont les caractéristiques électriques et optiques sont donnés aux annexes.

III.5.2. Montage expérimental

Les LEDs sont alimentés par une source-mètre Keithley 2400 par une tension variable à travers une résistance pour limiter le courant. On mesure ensuite à l'aide de Keithley 2400 le courant correspondant pour chaque tension. En même temps, on détermine la puissance optique pour chaque tension, en utilisant une photodiode BPX65 qu'on connaît la relation mathématique entre la puissance optique incidente et le photocourant de la photodiode.

Le montage expérimental qu'on a utilisé est représenté sur la figure ci-dessous :

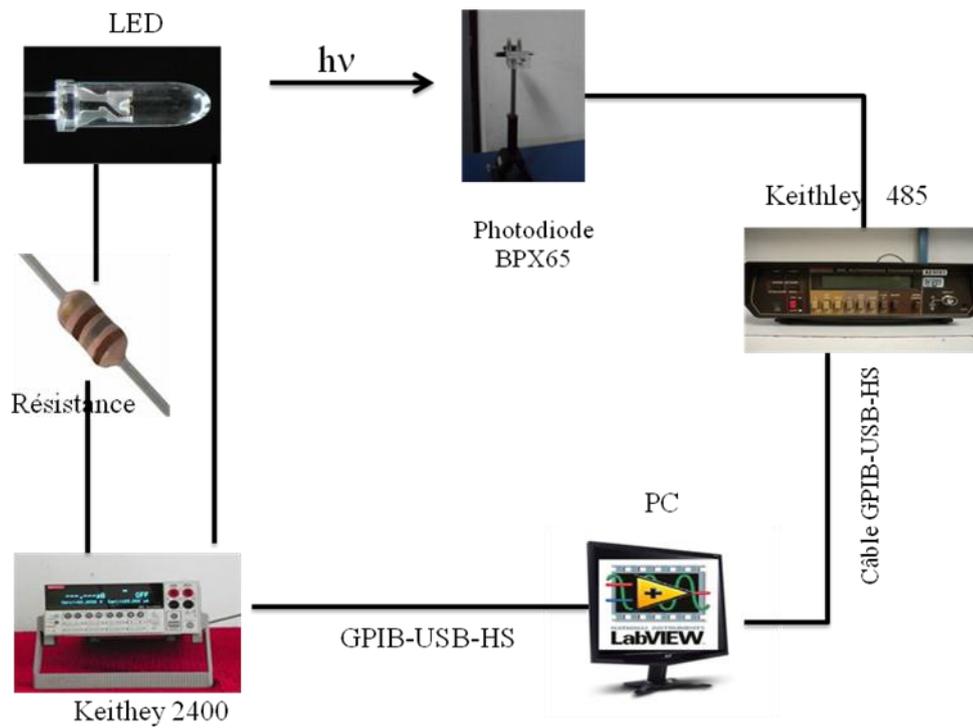


Figure III.2 : Banc de mesure de la caractéristique I-V et P-I.

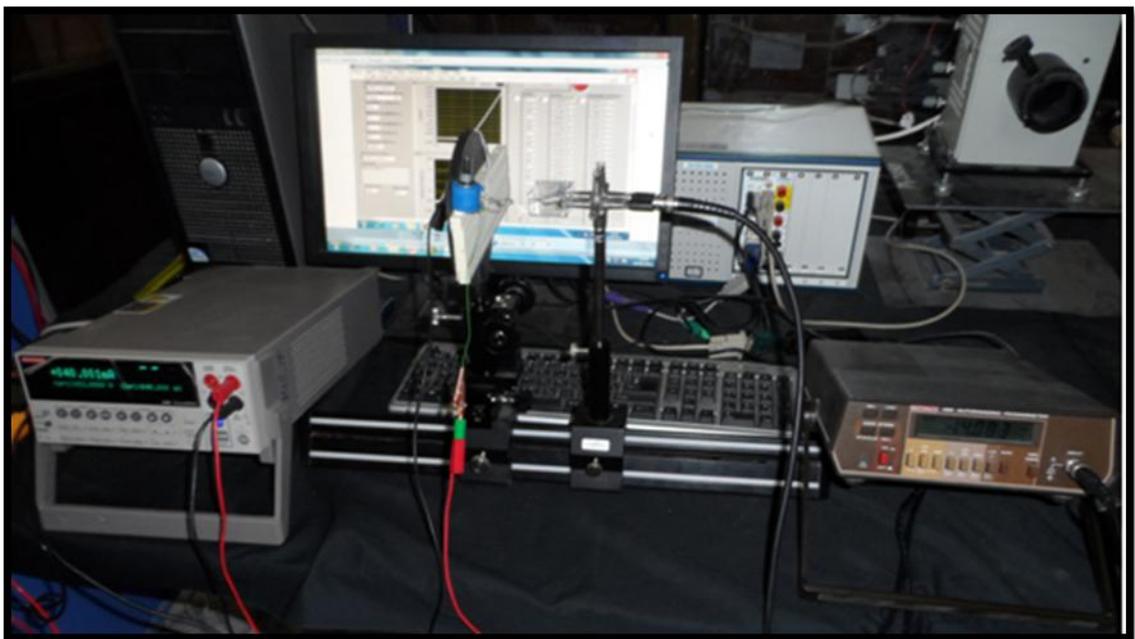
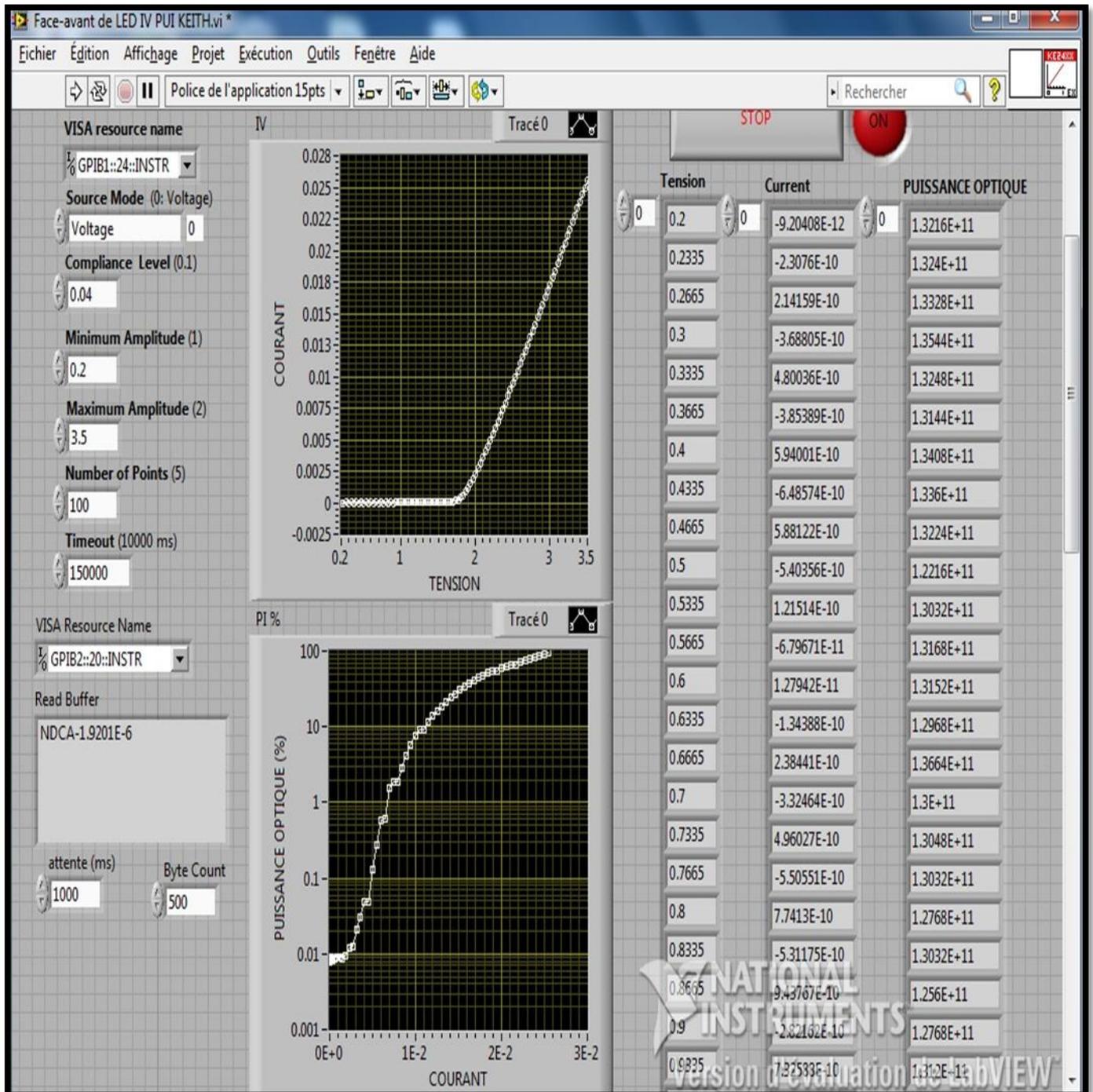


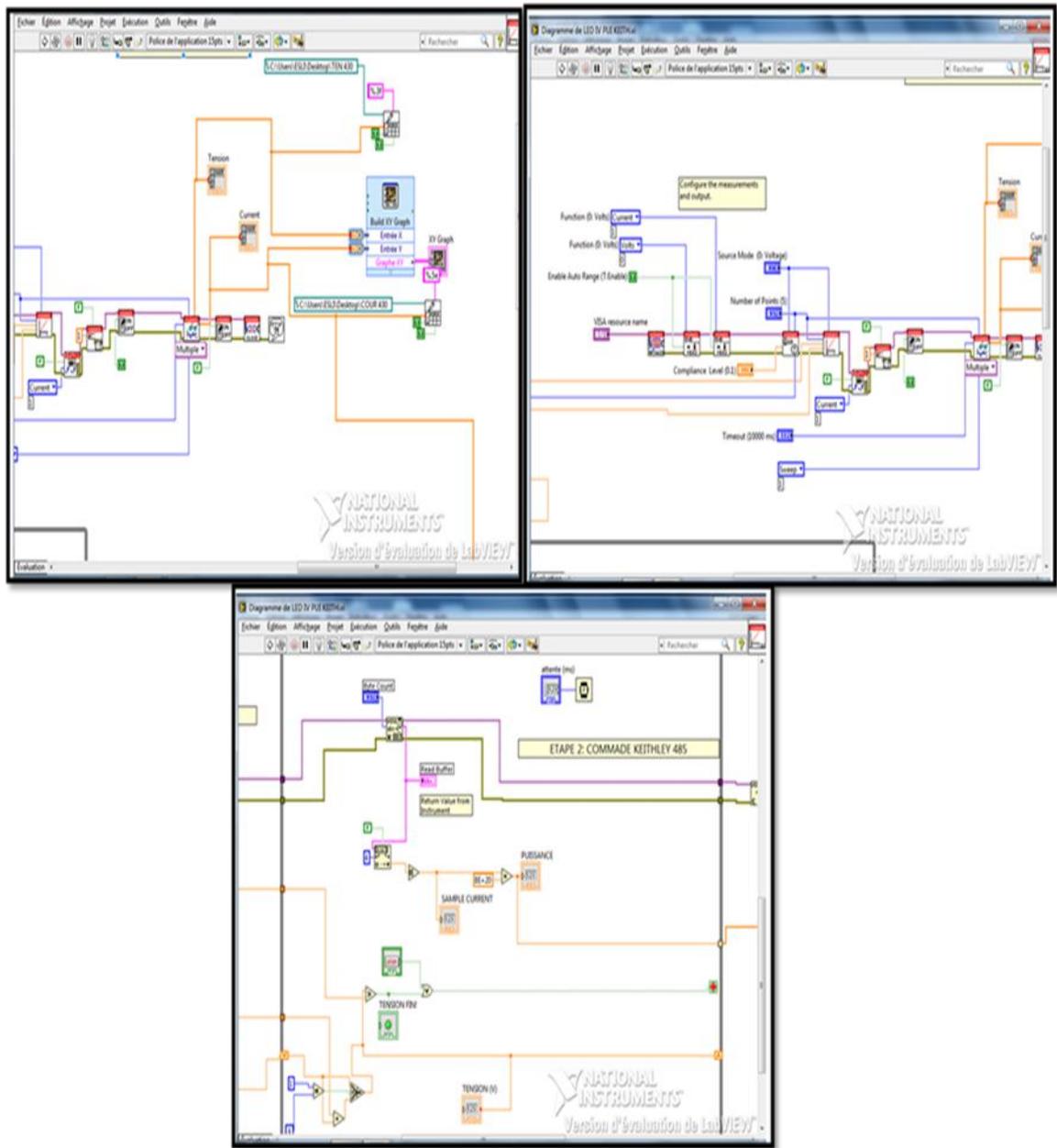
Figure III.3 : Photo du montage utilisé pour la caractéristique I-V et P-I.

III.5.3. Programme LabView

➤ Face avant



➤ *Diagramme*



III.5.4. Résultats

A l'aide de notre programme, nous avons obtenus les caractéristiques I-V et P-I représentés respectivement sur les figures ci-dessous.

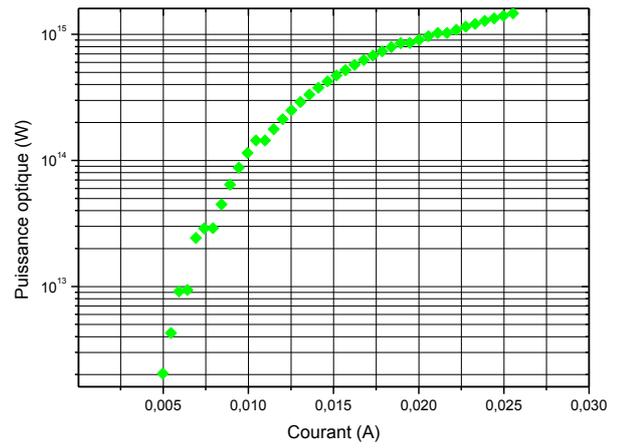
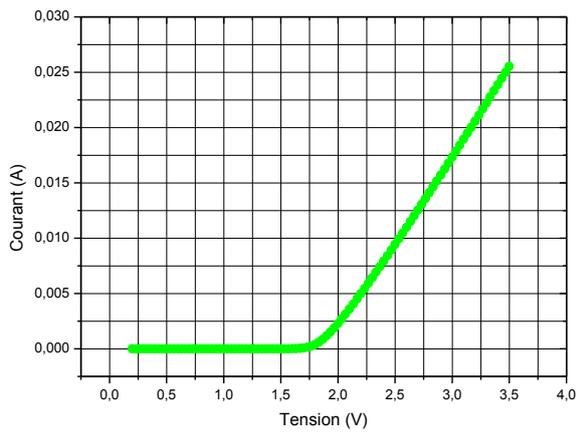


Figure III.4 : Caractéristiques I-V et P-I de la diode électroluminescente 565 nm.

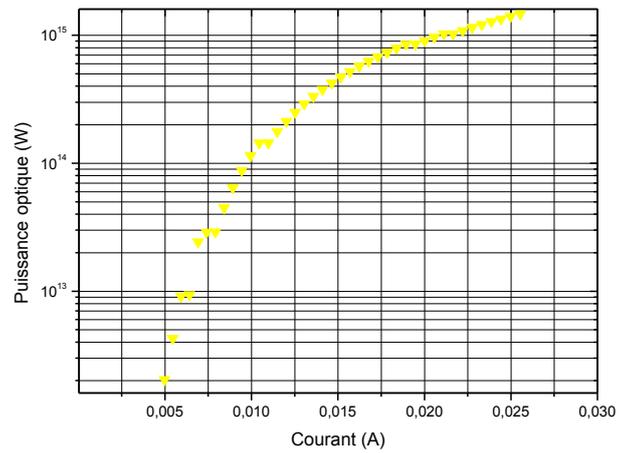
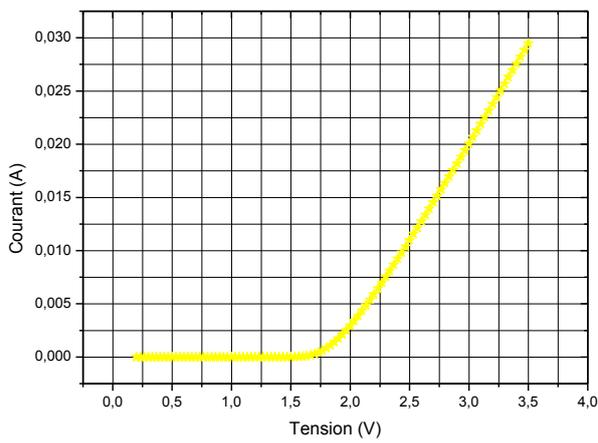


Figure III.5 : Caractéristiques I-V et P-I de la diode électroluminescente 590 nm.

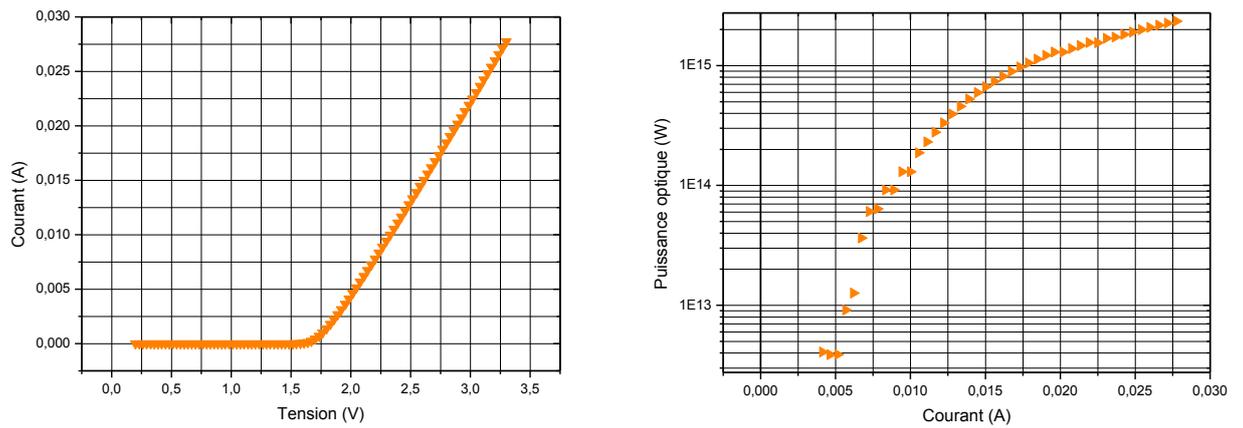


Figure III.6 : Caractéristiques I-V et P-I de la diode électroluminescente 612 nm.

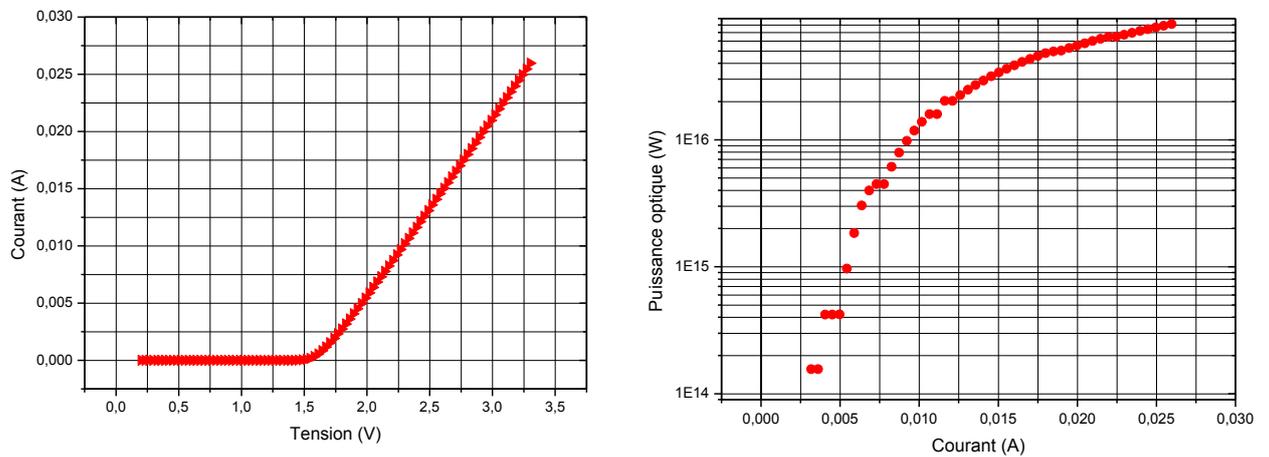


Figure III.7 : Caractéristiques I-V et P-I de diode électroluminescente 660 nm.

D'après la caractéristique I-V obtenue de chaque LED, on peut déterminer la valeur de la tension de seuil de chacune des LEDs. Les valeurs sont données au tableau suivant :

LED	565 nm	590 nm	612 nm	660 nm
Tension de seuil V_{ϕ} [V]	1.75	1.70	1.68	1.59

On remarque que les courbes I-V et P-I obtenues ont les mêmes caractéristiques données par le constructeur.

III.6. Réponse spectrale

III.6.1. Instrumentations

Les instruments utilisés pour extraire la réponse spectrale de nos diodes électroluminescentes sont :

➤ *Monochromateur*

C'est un instrument utilisé pour avoir une lumière monochromatique souhaité (fente de sortie) à partir d'une lumière blanche (fente d'entrée) en utilisant des réseaux de diffraction différentes. Il peut être commandé par LabView via un câble GPIB-USB ou un câble RS232.

➤ *Alimentation de tension continue EL302D*

C'est une alimentation de tension continue à double sortie. La tension appliquée peut être varié entre 0 à 30V avec un courant ne dépassant pas 2A.

Les autres instruments utilisés pour le montage de la réponse spectrale ont été déjà définis.

III.6.2. Montage expérimental

On alimente les LEDs avec une tension correspondante au courant maximum que peut supporter chaque LED. LED émis donc de la lumière monochromatique qu'on focalise à la fente d'entrée du monochromateur, ce dernier est utilisé pour varier la longueur d'onde dans une gamme bien choisie. A la sortie du monochromateur se trouve une photodiode de type ORIEL qui sera donc excité par différentes longueur d'onde. On mesure alors le photocourant correspondant à l'aide du picoampèremètre Keithley 485. En traçant ensuite le photocourant obtenu en fonction de λ , on obtient la réponse spectrale de chaque LED.

Le montage expérimental qu'on a utilisé est représenté sur la figure ci-dessous :

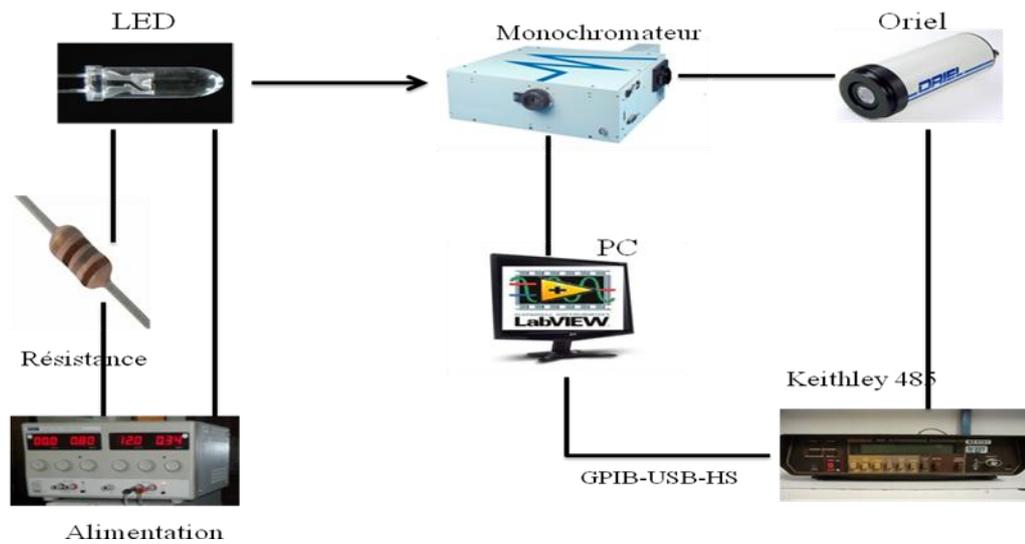


Figure III.8 : Banc de mesure de la réponse spectrale.

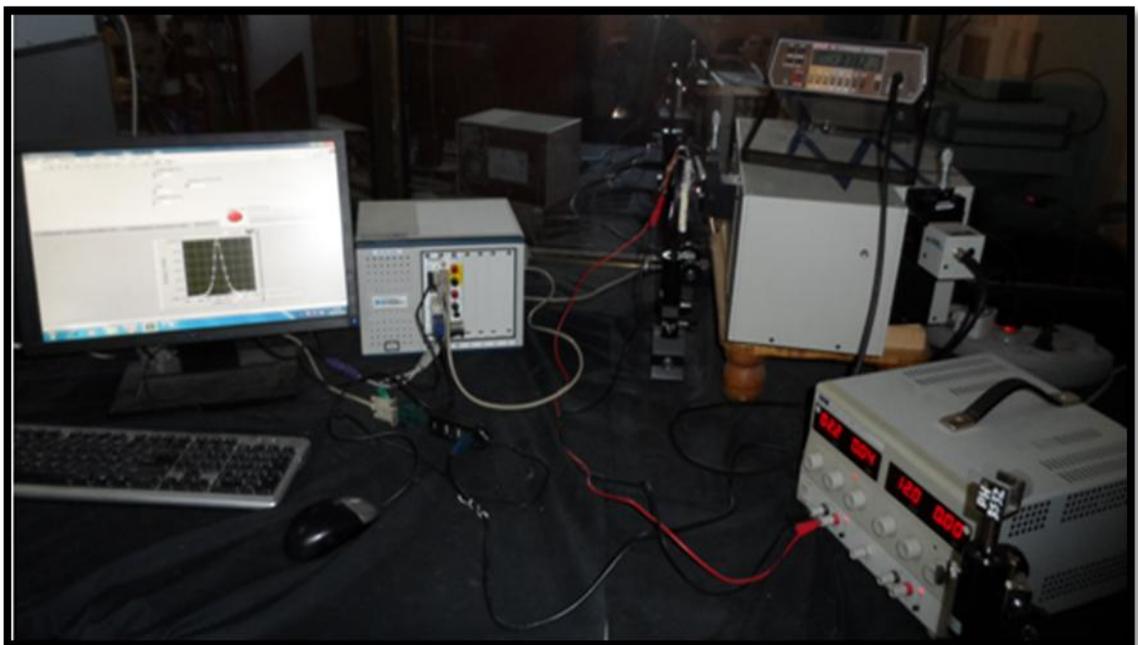
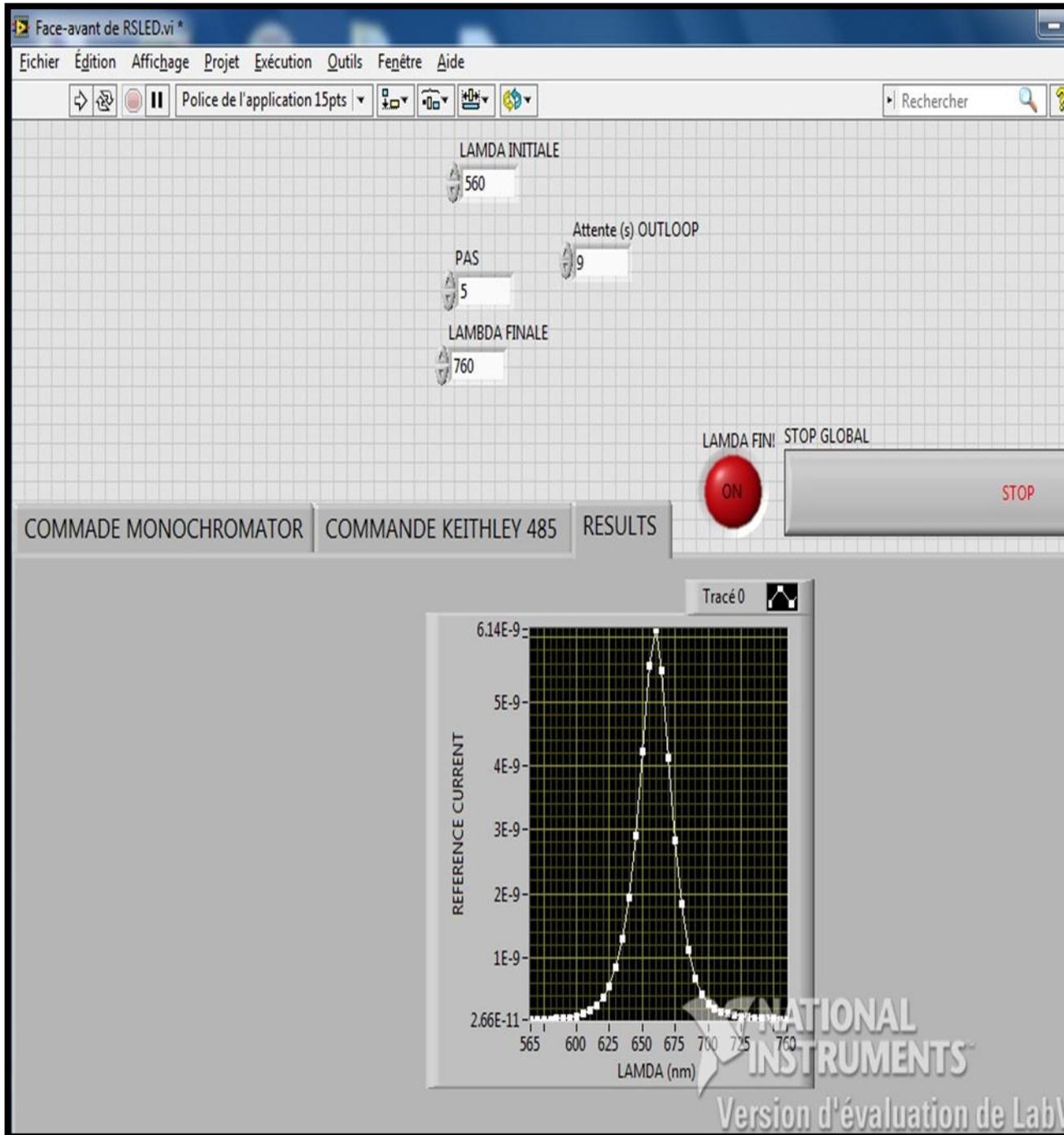


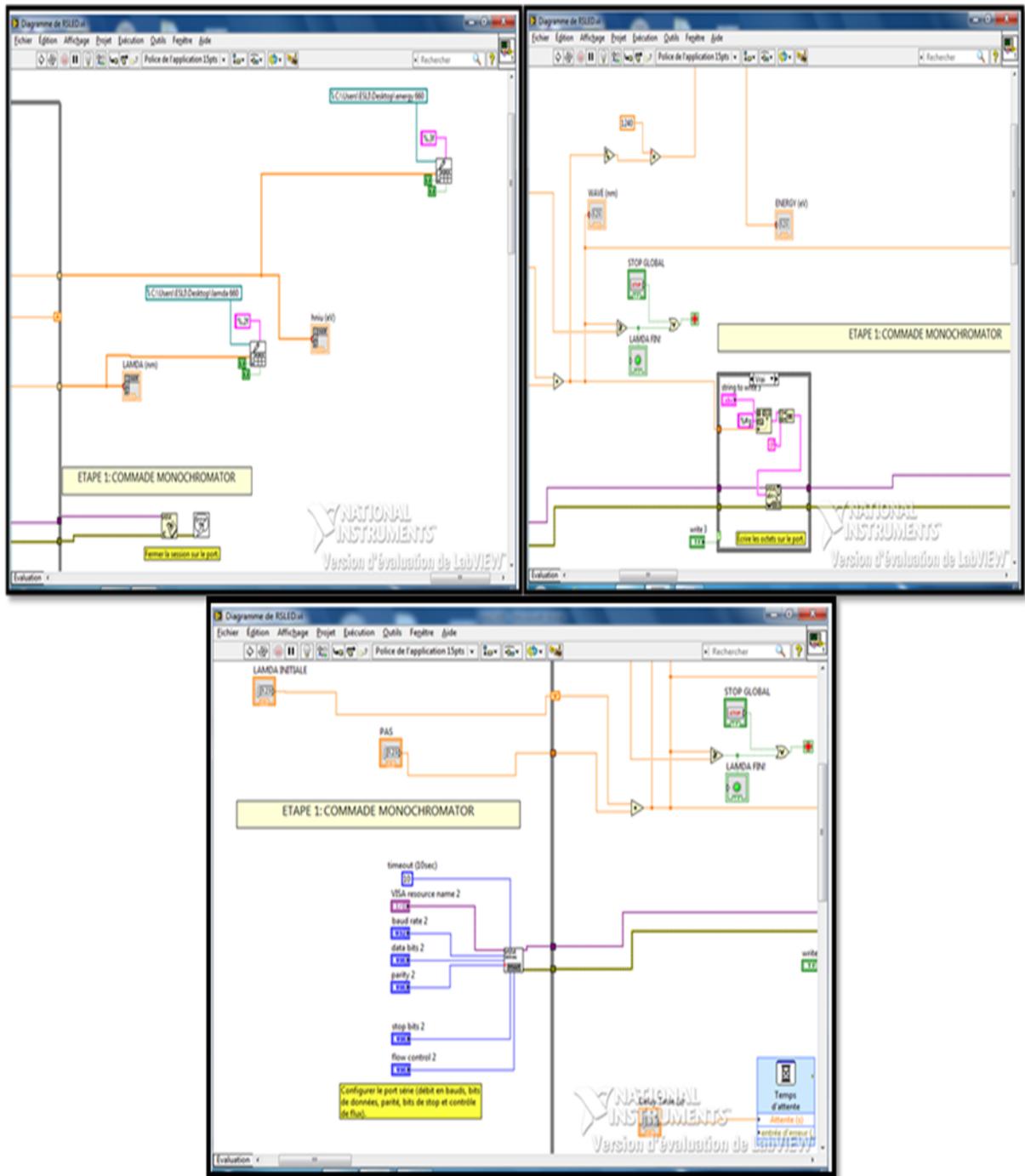
Figure III.9 : Photo du montage de la réponse spectrale.

III.6.3. Programme LabView

➤ Face avant



➤ *Diagramme*



III.6.4. Résultats

A l'aide de notre programme, nous avons obtenus la réponse spectrale de nos LEDs.

Les résultats sont représentés sur les figures ci-dessous :

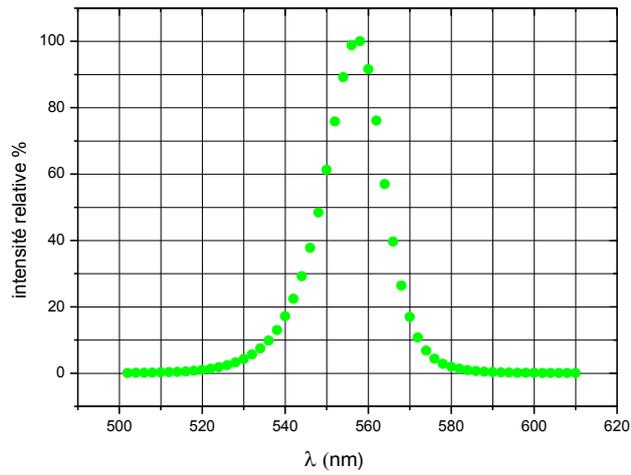


Figure III.10: Réponse spectral de LED 565 nm.

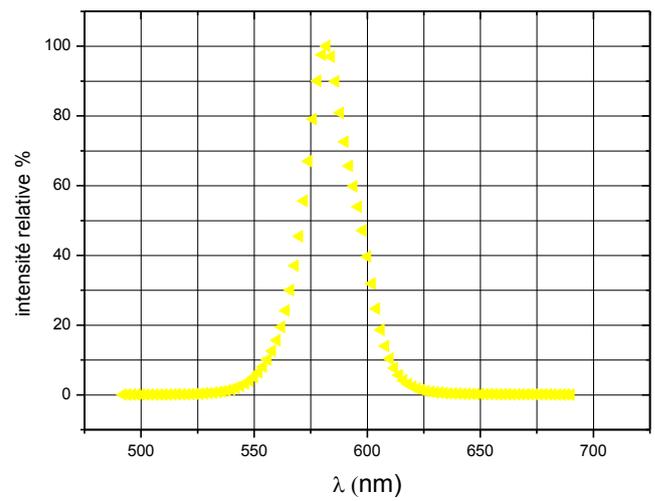


Figure III.11: Réponse spectral de LED 590 nm.

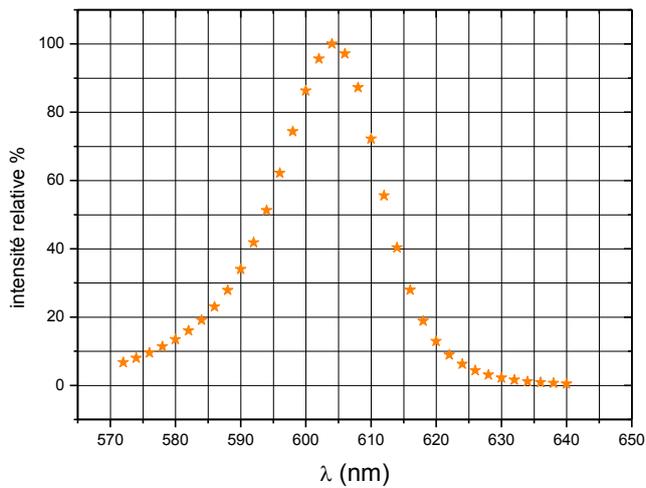


Figure III.12: Réponse spectral de LED 612 nm.

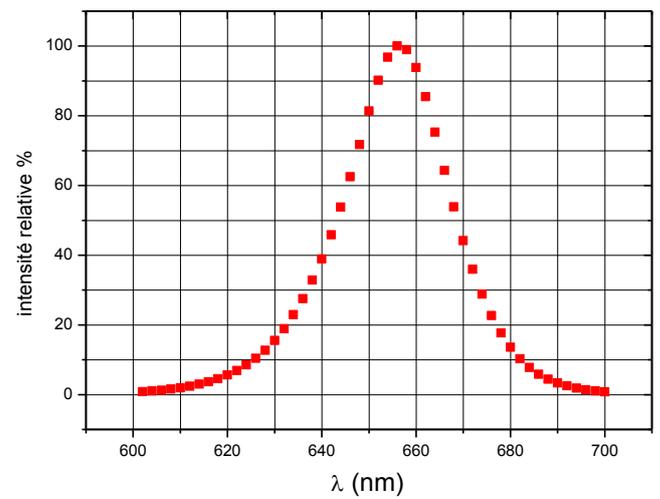
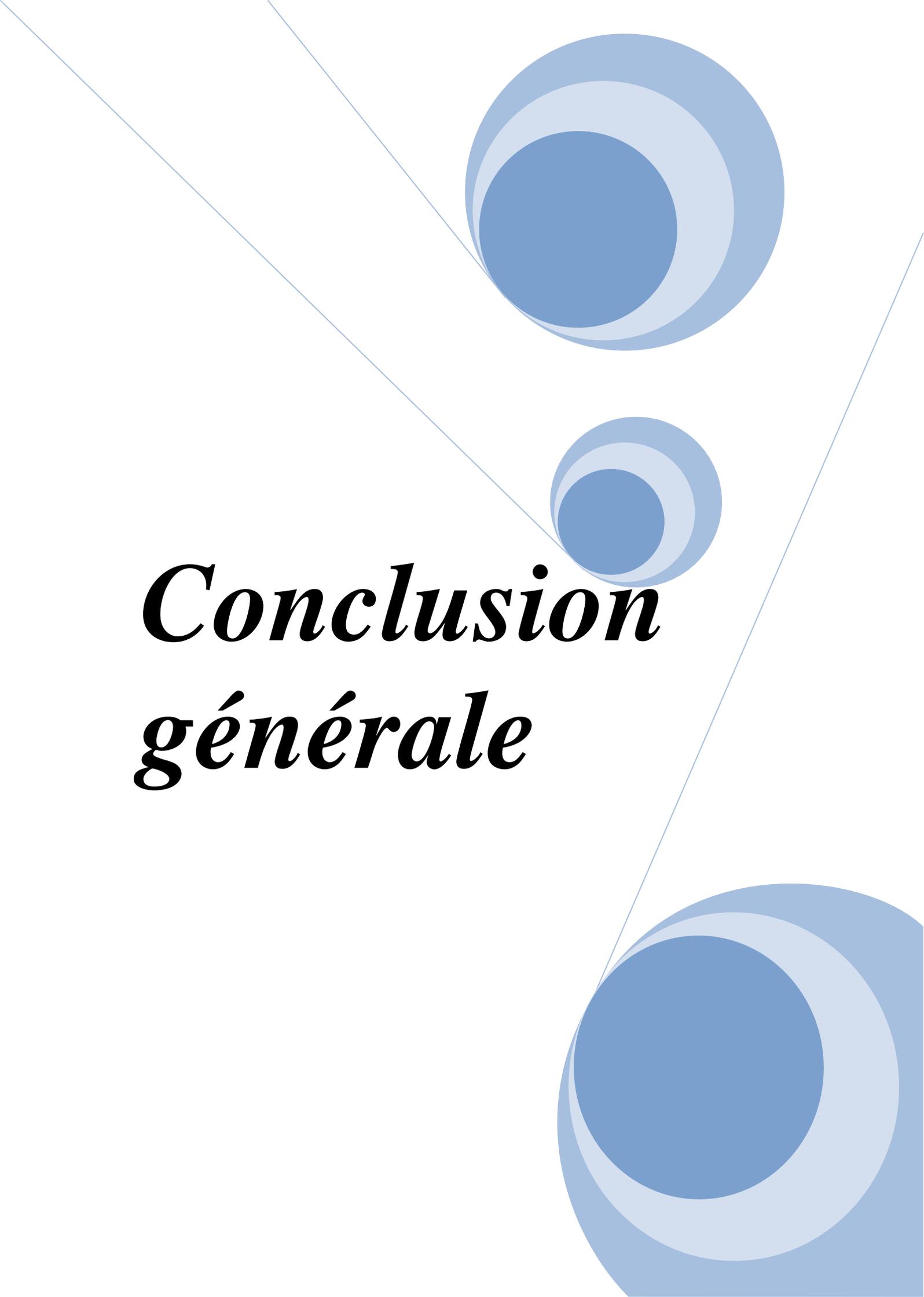


Figure III.13 : Réponse spectrale de LED 660 nm.

En exploitant les courbes précédentes, on peut connaître la longueur d'onde d'émission de chacune des LEDs. Les valeurs sont données au tableau suivant :

LED	565 nm	590 nm	612 nm	660 nm
Longueur d'onde correspond à l'intensité maximale	559 nm	587 nm	605 nm	658 nm

On remarque que les courbes de la réponse spectrale obtenues ont presque les mêmes allures données par le constructeur.

The background features a white page with three blue circular graphic elements. Each circle is composed of three concentric rings: a dark blue inner circle, a light blue middle ring, and a medium blue outer ring. The circles are arranged vertically, with the largest at the top, a smaller one in the middle, and another large one at the bottom. Two thin, light blue lines intersect at the top left and extend diagonally across the page, one passing through the top circle and the other passing through the middle circle.

***Conclusion
générale***

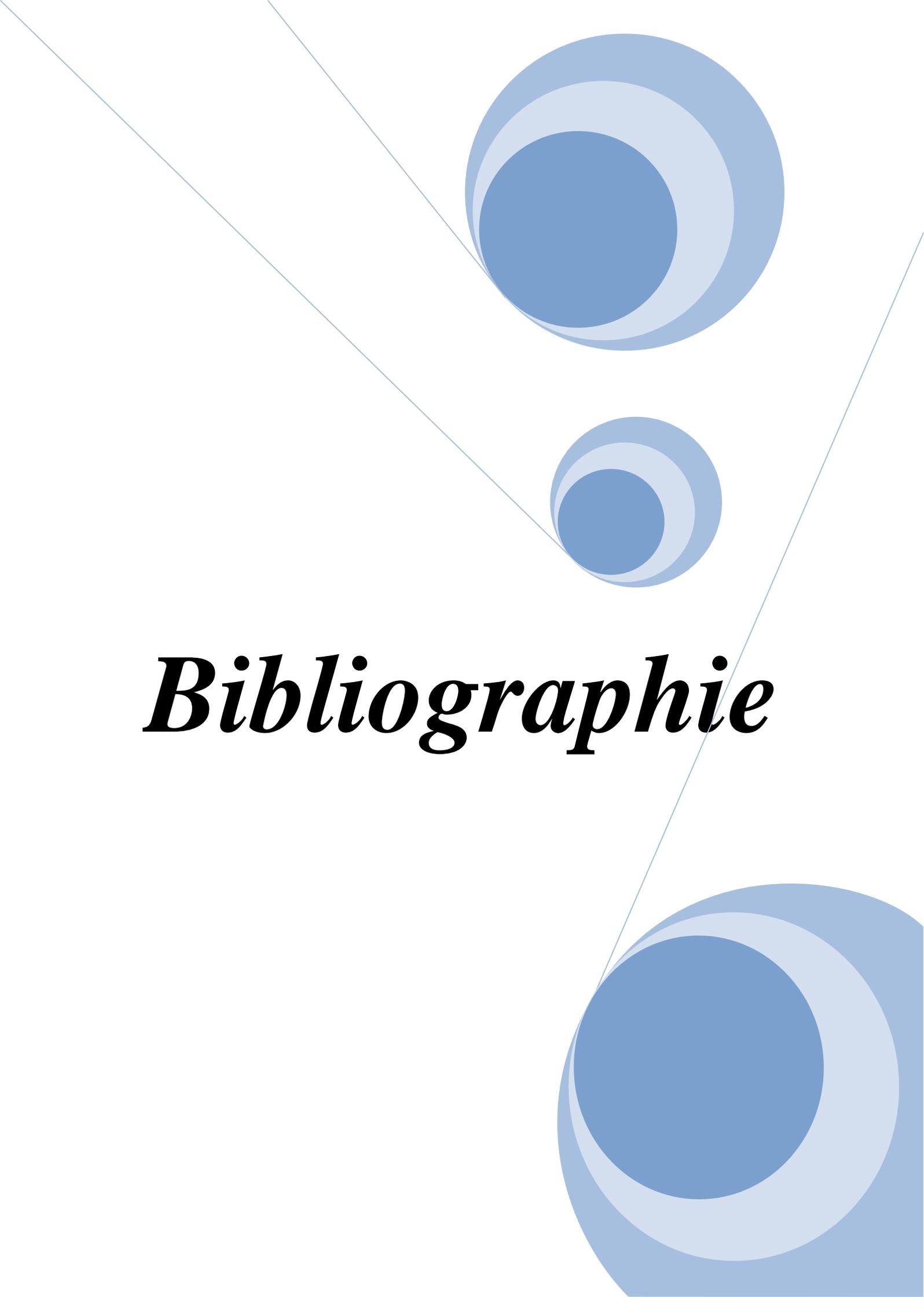
Conclusion générale

Une LED est une diode à jonction PN qui émet un rayonnement lorsqu'elle est polarisée en sens direct. Le rayonnement provient de l'émission d'un photon lors de la recombinaison électron/trou. Elle a plusieurs utilisations telles que : source de lumière dans les montages photo-électriques (LED + phototransistor); voyants et dans l'affichage numérique.

Au cours de ce présent travail, nous avons développé deux programmes afin de mesurer les caractéristiques courant-tension (I-V), puissance-courant (P-I) et la réponse spectrale de différentes LEDs en utilisant l'environnement LabView. Le travail expérimental a été effectué au niveau de laboratoire des matériaux semi-conducteurs et métalliques LMSM de l'université de Biskra.

Les mesures ont été menées sur quatre LEDs de différentes longueurs d'onde (565nm, 590nm, 612nm, 660nm). Nous avons mesuré premièrement les caractéristiques I-V et P-I où les courbes obtenus pour les différentes LEDs sont les mêmes données par le constructeur. Nous avons aussi pu déterminer la tension de seuil de chacune des LEDs. Deuxièmement, nous avons mesuré la réponse spectrale de chaque LED où les allures obtenus pour les différentes LEDs sont les mêmes données par le constructeur. Nous avons aussi pu déterminer la longueur d'onde d'émission de chacune des LEDs.

Enfin, nous souhaitons que les futures étudiants (es) peuvent exploiter les résultats obtenus des quatre LED afin de les utilisés pour des techniques de caractérisation où ils ont besoin des sources lumineuses monochromatiques soit en régime dynamique ou transitoire.

The background features a decorative graphic consisting of three blue circles of varying sizes, each with a gradient from dark blue to light blue. These circles are arranged vertically, with the largest at the top, a smaller one in the middle, and another large one at the bottom. Two thin, light blue lines intersect at a point on the left side, forming a V-shape that frames the circles.

Bibliographie

Bibliographie

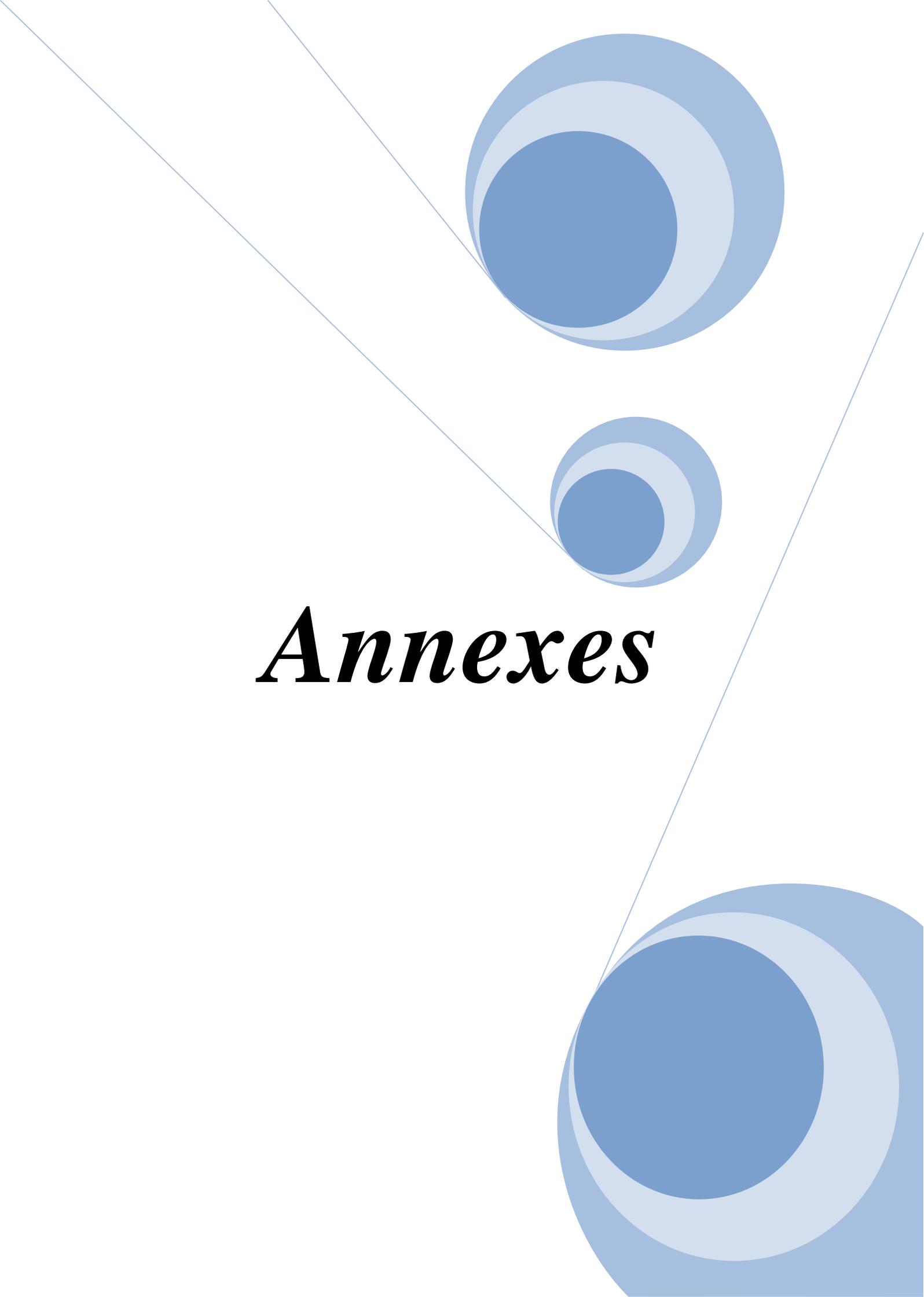
- [1] M.Bonzon, ‘‘ FORMATION LED’’, Linsi-tech Sàrl, 2012.
- [2] Site web www.batiweb.com
- [3] N. Oleksiy, ‘‘Simulation, Fabrication et Analyse de Cellules Photovoltaïques a contacts arrières interdigités ’’, Thèse Doctorat, Lyon : INSA de Lyon, 2005.
- [4] Site web www.univ-lemans.fr/enseignements/physique/02/cours.../semicon.pdf
- [5] O. Bonnaud, ‘‘ Physique des Solides, des Semiconducteurs et Dispositifs’’, IETR, Rennes, 2003.
- [6] N. Benhmed Benabdllah, ‘‘ Propriétés physiques des semi-conducteurs (Si monocristallin et Ge) et simulation des cellules solaires à base de Si et SiGe’’, memoire Magister, Universite abou bekr Belkaid -Tlemcen, 2006.
- [7] H.MATHIEU, ‘‘ Physique des semi conducteurs et des composants électroniques’’, 3^eéd (MASSON) Paris, 1996.
- [8] F.Lévy, ‘‘Physique et technologie des semi conducteur’’, presses Polytechnique et universitaire Romandes (PPUR), Paris, 1994.
- [9] A. Ricaud, ‘‘Convertisseurs photovoltaïques’’, Comprese et documentation, Paris, 2007.
- [10] H. MATHIEU, ‘‘Physique des semi conducteurs et des composants électroniques’’, 6^eédition Dunod, Paris, 2009.
- [11] S. Duchemin, N. Romain, ‘‘Caractérisations de couches minces de CuGaSe₂ obtenues par MOCVD’’, Thèse de doctorat, Science et techniques du Languedoc, Université de Montpellier II, 1999.
- [12] A. Laugier et jean-Alain Roger, ‘‘Photopiles solaires du matériau au dispositif’’, technique et documentation, Paris, 1981.
- [13] A. Labouret, P. Cumunel, J. P. Braun, B. Faraggi, ‘‘Cellules solaires :Les bases de l’énergie photovoltaïque’’, ETSF, Dunod, Paris, 2010.
- [14] P-J. Ribeyron, E. Rolland, P. Roca I Cabarrocas, J. Damon-Lacoste, A.S. Gudovskikh, J.P. Kleider, Y. Veschetti, J.C. Muller : ‘‘Single polymorphous/crystalline heterojunction solar cell with industrial process on P-type monocrystalline silicon’’. Proceeding of the 20st European PV Solar Energy Conference, Barcelona, June 2005

Bibliographie

- [15] L.Pirozzi, S.De Iuulis, F.Ferrazza, M.Zarcone, R.Meyer, Y.Veschetti, N.Eisenberg, R. Kopecek, S. Dewallef, S. Noel : "The Indhi Project: from lab-scale to on line production, 17% on large area μ c-Si cells". Proceeding of the 20th European PV Solar Energy Conference, Barcelona, June 2005.
- [16] Y. Veschetti, J.C. Muller, J. Damon-Lacoste, P. Roca I Cabarrocas, A.S.Gudovskikh, J.-P. Kleider, P.-J. Ribeyron, E. Rolland : "Improvement of polymorphous/crystalline heterojunction solar cells using low-temperature screen-printing pastes". Proceeding of the 31st IEEE PV Specialists Conference, Lake Buena Vista, Florida, Jan.2005
- [17] DZIEWIOR J and W. SCHMID, "Auger coefficient for highly doped and highly excited silicon", Appl Phys Lett, 1977, Vol 31, p 346-348.
- [18] Hall, R. N, "Silicon photovoltaic cells, solid state electronics ", vol 24, pp595-619 (1981).
- [19] Y. Veschetti, J-C. Muller, N. Le. Quang, G. Goer : "Choice of the substrate for heterostructure amorphous/crystalline solar cells :a simulation study", Proceedings of the 19th European PV Solar Energy Conference, p.1449, Paris, June 2004.
- [20] V. Svrcek Y. Veschetti, J-C. Muller, A.S. Gudovskikh, J-P. Kleider, J. Damon-Lacoste, P . Roca i Cabarrocas, C. Jaussaud,P-J. Ribeyron : " Monitoring of the polymorphous/silicon interface properties in the HIT solar cell by surface photovoltage technique in expanded spectral region". Proceedings of the 19th European PV Solar Energy Conference, p.1445, Paris, June 2004.
- [21] A. Saidane, "Physique des semi-conducteurs", Tome 2, OPU, Alger, 1993.
- [22] S. M. Sze, "Physics of Semiconductor Device", 2nd edition, Wiley Inter-Science, 1981.
- [23] Site web / www.univ-lemans.fr.
- [24] S. O. Kasap, "Optoelectronics and Photonics, Principles and Practices", Prentice-Hall International, NJ, USA, 2001.
- [25] M. Haelterman, "PHYSIQUE DES SEMI-CONDUCTEURS II", Applications Spéciales, Service d'Optique et d'Acoustique ,Faculté des Sciences Appliquées Université Libre de Bruxelles.

Bibliographie

- [26] J. Redoutey, “ Introduction aux dispositifs optoélectroniques utilisés en électronique de puissance”.
- [27] N. POUSSET, “ Cours d’initiation au logiciel LabVIEW” , 2008.
- [28] Site web www.ni.com.

The page features a decorative graphic consisting of three blue circles of varying sizes, each with a gradient from dark blue to light blue. These circles are arranged vertically, with the largest at the top, a smaller one in the middle, and another large one at the bottom. Two thin, light blue lines intersect at a point to the left of the circles, forming a V-shape that frames the central text.

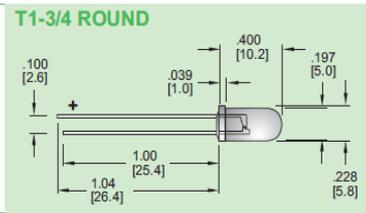
Annexes

Annexe A

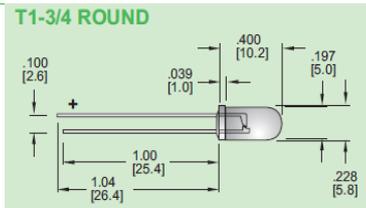
Caractéristiques des
différentes diodes
électroluminescentes

565nm & 572nm ULTRA BRIGHT GREEN LEDs

DESCRIPTION						
PART NUMBER		RADIATED COLOR		LENS COLOR		
L200CWG1K		ULTRA GREEN		WATER CLEAR		
ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS						
If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μA	λP nm	
20	1200	2.35	8°	50	574	
MAXIMUM RATINGS						
Pd mW	Ifp mA	If mA	Vr V			
140		50	4			

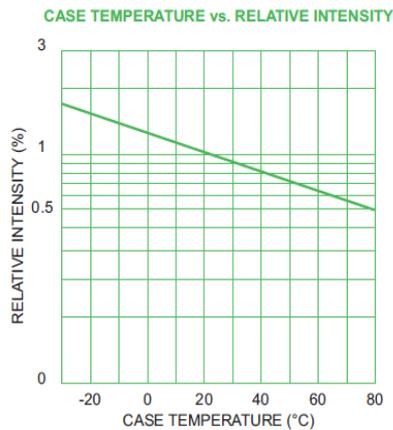
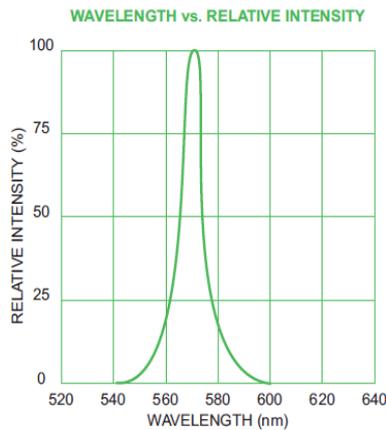
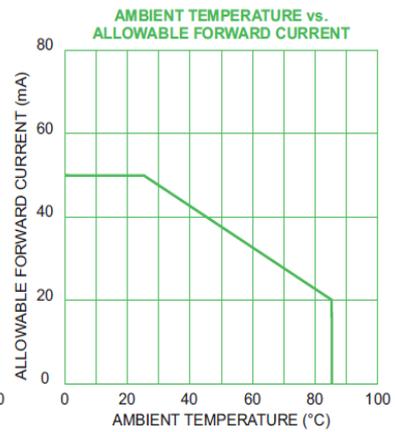
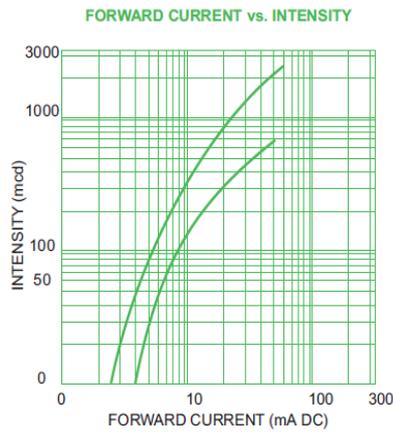
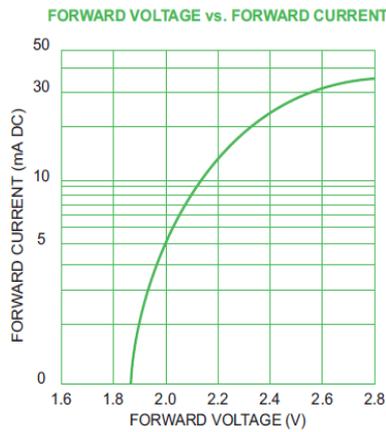


DESCRIPTION						
PART NUMBER		RADIATED COLOR		LENS COLOR		
L200CWPG350		ULTRA PURE GREEN		WATER CLEAR		
ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS						
If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μA	λP nm	
20	350	2.35	8°	50	562	
MAXIMUM RATINGS						
Pd mW	Ifp mA	If mA	Vr V			
140		50	4			



NOTES:

1. MAXIMUM STORAGE TEMPERATURE: -40°C TO +120°C.



590nm ULTRA BRIGHT YELLOW LEDs

DESCRIPTION

PART NUMBER	RADIATED COLOR	LENS COLOR
L400CWY6K	ULTRA YELLOW	WATER CLEAR

ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS

If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm
20	6000	2.1	4°	50	590

MAXIMUM RATINGS

Pd mW	I _{fp} mA	If mA	Vr V
125	100	50	4

T4 ROUND

DESCRIPTION

PART NUMBER	RADIATED COLOR	LENS COLOR
L200CWY3KB	ULTRA YELLOW	WATER CLEAR

ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS

If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm
20	2500	2.1	15°	50	590

MAXIMUM RATINGS

Pd mW	I _{fp} mA	If mA	Vr V
125	100	50	4

T1-3/4 ROUND

DESCRIPTION

PART NUMBER	RADIATED COLOR	LENS COLOR
LD190CWY3K	ULTRA YELLOW	WATER CLEAR

ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS

If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm
20	850	2.1	30°	50	590

MAXIMUM RATINGS

Pd mW	I _{fp} mA	If mA	Vr V
125	100	50	4

T1-3/4 ROUND

DESCRIPTION

PART NUMBER	RADIATED COLOR	LENS COLOR
LDF190CWY3K	ULTRA YELLOW	WATER CLEAR

ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS

If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm
20	100	2.1	180°	50	590

MAXIMUM RATINGS

Pd mW	I _{fp} mA	If mA	Vr V
125	100	50	4

T1-3/4 CYLINDRICAL

DESCRIPTION

PART NUMBER	RADIATED COLOR	LENS COLOR
LD120CWY3K	ULTRA YELLOW	WATER CLEAR

ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS

If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm
20	250	2.1	25°	50	590

MAXIMUM RATINGS

Pd mW	I _{fp} mA	If mA	Vr V
125	100	50	4

T1 ROUND

DESCRIPTION

PART NUMBER	RADIATED COLOR	LENS COLOR
RL280Y3KM	ULTRA YELLOW	TOP DIFF TINTED YEL

ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS

If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm
20	47	2.1	125°	50	590

MAXIMUM RATINGS

Pd mW	I _{fp} mA	If mA	Vr V
125	100	50	4

2 x 5 mm RECTANGULAR

590nm ULTRA BRIGHT YELLOW LEDs

DESCRIPTION

PART NUMBER	RADIATED COLOR	LENS COLOR
L200TY3KB	ULTRA YELLOW	YELLOW DIFFUSED

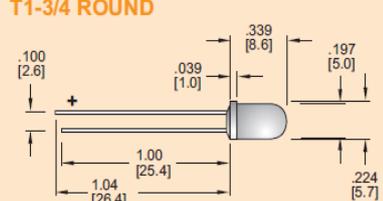
ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS

If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm
20	400	2.1	40°	50	590

MAXIMUM RATINGS

Pd mW	I _{fp} mA	If mA	Vr V
125	100	50	4

T1-3/4 ROUND



DESCRIPTION

PART NUMBER	RADIATED COLOR	LENS COLOR
L120TY3KN	ULTRA YELLOW	YELLOW DIFFUSED

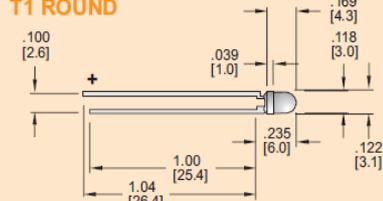
ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS

If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm
20	220	2.1	55°	50	590

MAXIMUM RATINGS

Pd mW	I _{fp} mA	If mA	Vr V
125	100	50	4

T1 ROUND



DESCRIPTION

PART NUMBER	RADIATED COLOR	LENS COLOR
L080CWY3KB	ULTRA YELLOW	WATER CLEAR

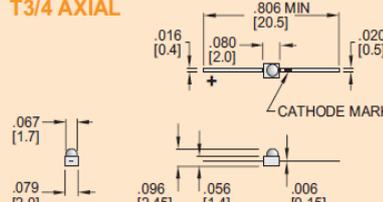
ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS

If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm
20	125	2.1	55°	50	590

MAXIMUM RATINGS

Pd mW	I _{fp} mA	If mA	Vr V
125	100	50	4

T3/4 AXIAL



DESCRIPTION

PART NUMBER	RADIATED COLOR	LENS COLOR
SML10Y3K	ULTRA YELLOW	WATER CLEAR

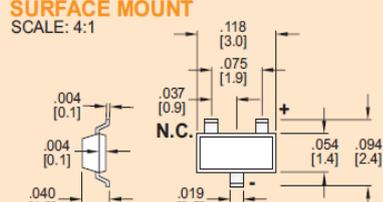
ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS

If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm
20	40	2.1	140°	50	590

MAXIMUM RATINGS

Pd mW	I _{fp} mA	If mA	Vr V
125	100	50	4

SURFACE MOUNT
SCALE: 4:1



DESCRIPTION

PART NUMBER	RADIATED COLOR	LENS COLOR
SML10Y3KT	ULTRA YELLOW	WATER CLEAR

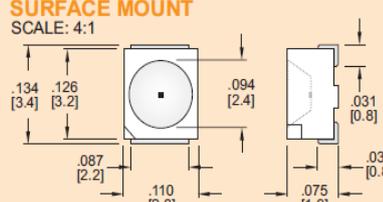
ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS

If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm
20	XXX	2.1	125°	50	590

MAXIMUM RATINGS

Pd mW	I _{fp} mA	If mA	Vr V
125	100	50	4

SURFACE MOUNT
SCALE: 4:1



NON-STOCKED

590nm ULTRA BRIGHT YELLOW LEDs

DESCRIPTION

PART NUMBER	RADIATED COLOR	LENS COLOR
L203CY3KB-6Vf	ULTRA YELLOW	WATER CLEAR

ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS

If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm
15	100	6.3	160°	50	590

MAXIMUM RATINGS

Pd mW	I _{fp} mA	If mA	Vr V
125		17	12

T1-3/4 3 CHIP

DESCRIPTION

PART NUMBER	RADIATED COLOR	LENS COLOR
L206CY3KB-4Vf	ULTRA YELLOW	WATER CLEAR

ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS

If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm
45	200	3.8	160°	150	590

MAXIMUM RATINGS

Pd mW	I _{fp} mA	If mA	Vr V
250		48	8

DESCRIPTION

PART NUMBER	RADIATED COLOR	LENS COLOR
L206CY3KB-12Vf	ULTRA YELLOW	WATER CLEAR

ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS

If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm
15	200	11.3	160°	50	590

MAXIMUM RATINGS

Pd mW	I _{fp} mA	If mA	Vr V
250		17	24

T1-3/4 6 CHIP

DESCRIPTION

PART NUMBER	RADIATED COLOR	LENS COLOR
L375CY3K-12Vf-2P	ULTRA YELLOW	WATER CLEAR

ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS

If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm
30	240	11.4	160°	100	590

MAXIMUM RATINGS

Pd mW	I _{fp} mA	If mA	Vr V
525		35	

DESCRIPTION

PART NUMBER	RADIATED COLOR	LENS COLOR
L375CY3K-24Vf-S	ULTRA YELLOW	WATER CLEAR

ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS

If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm
15	240	23	160°	50	590

MAXIMUM RATINGS

Pd mW	I _{fp} mA	If mA	Vr V
525		18	

12 CHIP

590nm ULTRA BRIGHT YELLOW LEDs

DESCRIPTION			RADIATED COLOR			LENS COLOR			
PART NUMBER									
L575CY3K-18Vf-2P	ULTRA YELLOW			WATER CLEAR					

ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS						MAXIMUM RATINGS			
If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm	Pd mW	Ifp mA	If mA	Vr V
30	280	17	160°	100	590	775		35	

DESCRIPTION			RADIATED COLOR			LENS COLOR			
PART NUMBER									
L575CY3K-36Vf-S	ULTRA YELLOW			WATER CLEAR					

ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS						MAXIMUM RATINGS			
If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm	Pd mW	Ifp mA	If mA	Vr V
15	280	34	160°	50	590	775		18	

18 CHIP

NOTES:

1. MAXIMUM OPERATING TEMPERATURE: -30° TO +85°C.
2. MAXIMUM STORAGE TEMPERATURE: -40°C TO +120°C.

612nm ULTRA BRIGHT ORANGE LEDs

DESCRIPTION

PART NUMBER	RADIATED COLOR	LENS COLOR
L400CWO12K	ULTRA ORANGE	WATER CLEAR

ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS

If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm
20	12000	1.95	4°	100	612

MAXIMUM RATINGS

Pd mW	I _{fp} mA	If mA	Vr V
165	100	30	5

T4 ROUND

DESCRIPTION

PART NUMBER	RADIATED COLOR	LENS COLOR
L200CWO6K	ULTRA ORANGE	WATER CLEAR

ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS

If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm
20	6500	1.95	15°	100	612

MAXIMUM RATINGS

Pd mW	I _{fp} mA	If mA	Vr V
165	100	30	5

T1-3/4 ROUND

DESCRIPTION

PART NUMBER	RADIATED COLOR	LENS COLOR
L200CWO6K-NB	ULTRA ORANGE	WATER CLEAR

ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS

If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm
20	8500	1.95	8°	100	612

MAXIMUM RATINGS

Pd mW	I _{fp} mA	If mA	Vr V
165	100	30	5

T1-3/4 ROUND

DESCRIPTION

PART NUMBER	RADIATED COLOR	LENS COLOR
LD190CWO3K	ULTRA ORANGE	WATER CLEAR

ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS

If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm
20	650	1.95	30°	100	612

MAXIMUM RATINGS

Pd mW	I _{fp} mA	If mA	Vr V
165	100	30	5

T1-3/4 ROUND

DESCRIPTION

PART NUMBER	RADIATED COLOR	LENS COLOR
LDF190CWO3K	ULTRA ORANGE	WATER CLEAR

ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS

If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm
20	125	1.95	180°	100	612

MAXIMUM RATINGS

Pd mW	I _{fp} mA	If mA	Vr V
165	100	30	5

T1-3/4 CYLINDRICAL

DESCRIPTION

PART NUMBER	RADIATED COLOR	LENS COLOR
LD120CWO3K	ULTRA ORANGE	WATER CLEAR

ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS

If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm
20	275	1.95	25°	100	612

MAXIMUM RATINGS

Pd mW	I _{fp} mA	If mA	Vr V
165	100	30	5

T1 ROUND

612nm ULTRA BRIGHT ORANGE LEDs

DESCRIPTION

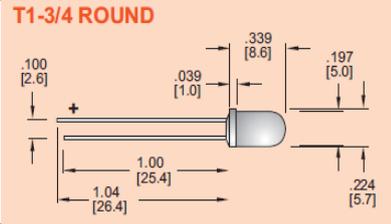
PART NUMBER	RADIATED COLOR	LENS COLOR
L200T03KB	ULTRA ORANGE	ORANGE DIFFUSED

ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS

If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm
20	XXX	1.95	40°	100	612

MAXIMUM RATINGS

Pd mW	I _{fp} mA	If mA	Vr V
75	100	30	4



NON-STOCKED

DESCRIPTION

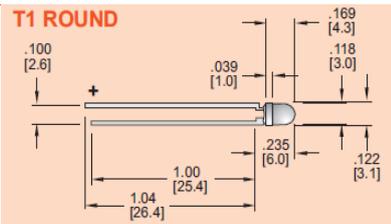
PART NUMBER	RADIATED COLOR	LENS COLOR
L120T03KN	ULTRA ORANGE	ORANGE DIFFUSED

ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS

If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm
20	XXX	1.95	55°	100	612

MAXIMUM RATINGS

Pd mW	I _{fp} mA	If mA	Vr V
75	100	30	4



NON-STOCKED

DESCRIPTION

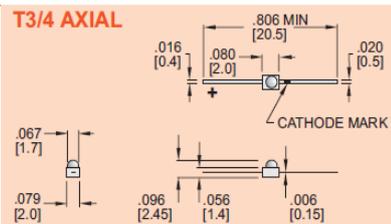
PART NUMBER	RADIATED COLOR	LENS COLOR
L080CW03KB	ULTRA ORANGE	WATER CLEAR

ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS

If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm
20	XXX	1.95	55°	100	612

MAXIMUM RATINGS

Pd mW	I _{fp} mA	If mA	Vr V
75	100	30	4



NON-STOCKED

DESCRIPTION

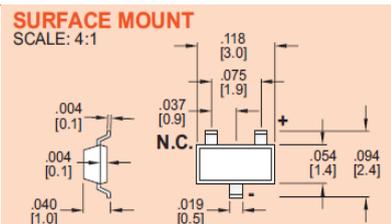
PART NUMBER	RADIATED COLOR	LENS COLOR
SML1003K	ULTRA ORANGE	WATER CLEAR

ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS

If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm
20	XXX	1.95	140°	100	612

MAXIMUM RATINGS

Pd mW	I _{fp} mA	If mA	Vr V
75	100	30	4



NON-STOCKED

DESCRIPTION

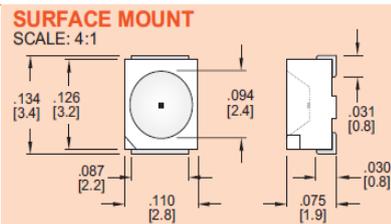
PART NUMBER	RADIATED COLOR	LENS COLOR
SML1003KT	ULTRA ORANGE	WATER CLEAR

ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS

If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm
20	XXX	1.95	125°	100	612

MAXIMUM RATINGS

Pd mW	I _{fp} mA	If mA	Vr V
75	100	30	4



NON-STOCKED

612nm ULTRA BRIGHT ORANGE LEDs

DESCRIPTION

PART NUMBER	RADIATED COLOR	LENS COLOR
L203CO3KB-6Vf	ULTRA ORANGE	WATER CLEAR

ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS

If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm
15	200	5.85	160°	50	612

MAXIMUM RATINGS

Pd mW	I _{fp} mA	I _f mA	V _r V
125		17	12

T1-3/4 3 CHIP

DESCRIPTION

PART NUMBER	RADIATED COLOR	LENS COLOR
L206CO3KB-4Vf	ULTRA YELLOW	WATER CLEAR

ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS

If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm
45	320	3.9	160°	150	612

MAXIMUM RATINGS

Pd mW	I _{fp} mA	I _f mA	V _r V
250		48	8

T1-3/4 6 CHIP

DESCRIPTION

PART NUMBER	RADIATED COLOR	LENS COLOR
L206CO3KB-12Vf	ULTRA YELLOW	WATER CLEAR

ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS

If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm
15	320	11.7	160°	50	612

MAXIMUM RATINGS

Pd mW	I _{fp} mA	I _f mA	V _r V
250		17	24

DESCRIPTION

PART NUMBER	RADIATED COLOR	LENS COLOR
L375CO3K-12Vf-2P	ULTRA ORANGE	WATER CLEAR

ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS

If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm
30	XXX	11.7	160°	100	612

MAXIMUM RATINGS

Pd mW	I _{fp} mA	I _f mA	V _r V
525		35	

DESCRIPTION

PART NUMBER	RADIATED COLOR	LENS COLOR
L375CO3K-24Vf-S	ULTRA ORANGE	WATER CLEAR

ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS

If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm
15	XXX	23.4	160°	50	612

MAXIMUM RATINGS

Pd mW	I _{fp} mA	I _f mA	V _r V
525		18	

12 CHIP

NON-STOCKED

612nm ULTRA BRIGHT ORANGE LEDs

DESCRIPTION					
PART NUMBER		RADIATED COLOR		LENS COLOR	
L575CO3K-18Vf-2P		ULTRA ORANGE		WATER CLEAR	

ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS						MAXIMUM RATINGS			
I _f mA	I _v mcd	V _f V	VIEW ANGLE	I _r μA	λ _P nm	P _d mW	I _{fp} mA	I _f mA	V _r V
30	XXX	17.6	160°	100	612	775		35	

DESCRIPTION					
PART NUMBER		RADIATED COLOR		LENS COLOR	
L575CO3K-36Vf-S		ULTRA ORANGE		WATER CLEAR	

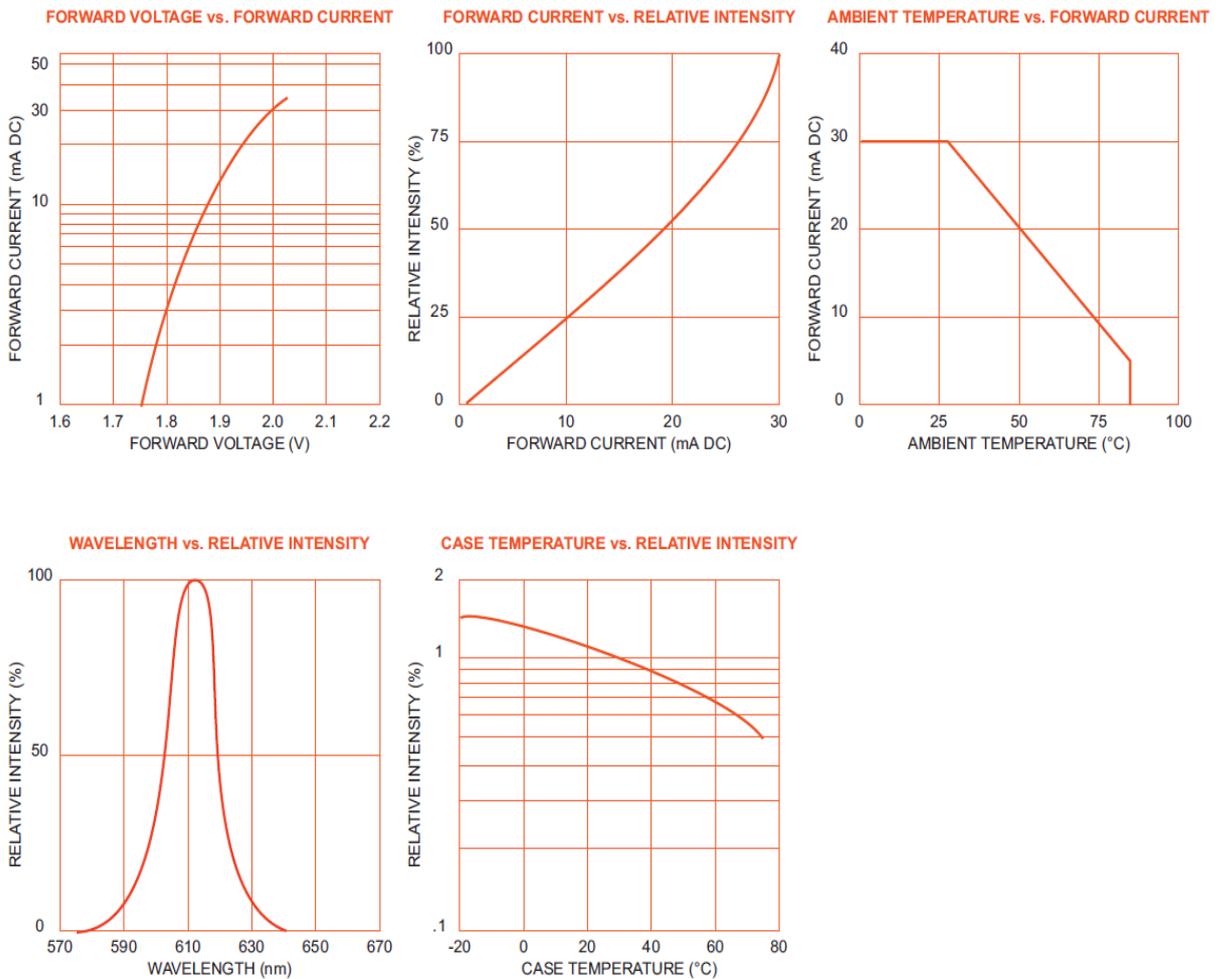
ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS						MAXIMUM RATINGS			
I _f mA	I _v mcd	V _f V	VIEW ANGLE	I _r μA	λ _P nm	P _d mW	I _{fp} mA	I _f mA	V _r V
15	XXX	35.1	160°	50	612	775		18	

18 CHIP

NON-STOCKED

NOTES:

1. MAXIMUM OPERATING TEMPERATURE: -30° TO +85°C.
2. MAXIMUM STORAGE TEMPERATURE: -40°C TO +120°C.



660nm ULTRA BRIGHT RED LEDs

DESCRIPTION

PART NUMBER	RADIATED COLOR	LENS COLOR
L200CWR5K	ULTRA RED	WATER CLEAR

ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS

If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm
20	4100	1.7	8°	100	660

MAXIMUM RATINGS

Pd mW	I _{fp} mA	If mA	Vr V
125	200	50	4

T1-3/4 ROUND

DESCRIPTION

PART NUMBER	RADIATED COLOR	LENS COLOR
L200CWR3KC	ULTRA RED	WATER CLEAR

ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS

If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm
20	2300	1.7	8°	100	660

MAXIMUM RATINGS

Pd mW	I _{fp} mA	If mA	Vr V
125	200	50	4

T1-3/4 ROUND

DESCRIPTION

PART NUMBER	RADIATED COLOR	LENS COLOR
L200CWR1KA	ULTRA RED	WATER CLEAR

ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS

If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm
20	1000	1.8	12°	100	660

MAXIMUM RATINGS

Pd mW	I _{fp} mA	If mA	Vr V
100	200	40	4

T1-3/4 ROUND

DESCRIPTION

PART NUMBER	RADIATED COLOR	LENS COLOR
L200CWR900H	ULTRA RED	WATER CLEAR

ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS

If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm
20	1000	1.8	19°	100	660

MAXIMUM RATINGS

Pd mW	I _{fp} mA	If mA	Vr V
100	300	30	5

T1-3/4 ROUND

DESCRIPTION

PART NUMBER	RADIATED COLOR	LENS COLOR
LD190CWR6	ULTRA RED	WATER CLEAR

ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS

If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm
20	190	1.7	30°	100	660

MAXIMUM RATINGS

Pd mW	I _{fp} mA	If mA	Vr V
100	200	40	4

T1-3/4 ROUND

DESCRIPTION

PART NUMBER	RADIATED COLOR	LENS COLOR
LDF190CWR6	ULTRA RED	WATER CLEAR

ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS

If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm
20	63	1.7	180°	100	660

MAXIMUM RATINGS

Pd mW	I _{fp} mA	If mA	Vr V
100	200	40	4

T1-3/4 CYLINDRICAL

660nm ULTRA BRIGHT RED LEDs

DESCRIPTION

PART NUMBER	RADIATED COLOR	LENS COLOR
LD120CWR6B	ULTRA RED	WATER CLEAR

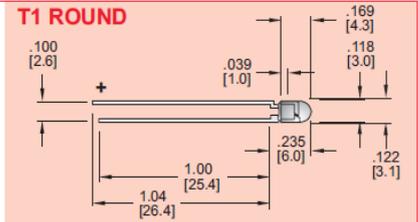
ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS

If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm
20	80	1.8	25°	100	660

MAXIMUM RATINGS

Pd mW	Ifp mA	If mA	Vr V
100	200	40	4

T1 ROUND



DESCRIPTION

PART NUMBER	RADIATED COLOR	LENS COLOR
L080CWR6B	ULTRA RED	WATER CLEAR

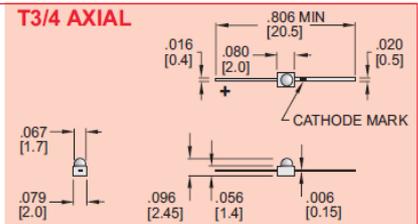
ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS

If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm
20	75	1.7	55°	100	660

MAXIMUM RATINGS

Pd mW	Ifp mA	If mA	Vr V
60	150	30	4

T3/4 AXIAL



DESCRIPTION

PART NUMBER	RADIATED COLOR	LENS COLOR
SML10R6	ULTRA RED	WATER CLEAR

ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS

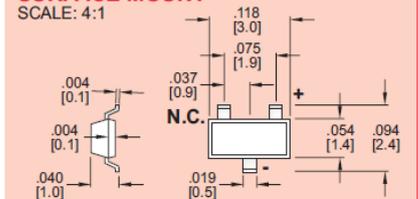
If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm
20	17	1.7	140°	100	660

MAXIMUM RATINGS

Pd mW	Ifp mA	If mA	Vr V
60	70	30	4

SURFACE MOUNT

SCALE: 4:1



DESCRIPTION

PART NUMBER	RADIATED COLOR	LENS COLOR
SML10R6T	ULTRA RED	WATER CLEAR

ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS

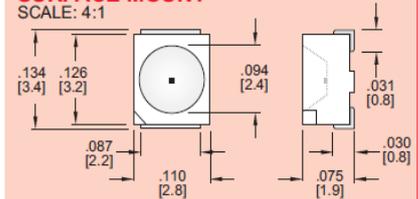
If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm
20	45	1.7	125°	100	660

MAXIMUM RATINGS

Pd mW	Ifp mA	If mA	Vr V
60	150	30	5

SURFACE MOUNT

SCALE: 4:1



NON-STOCKED

DESCRIPTION

PART NUMBER	RADIATED COLOR	LENS COLOR
L200TR6B	ULTRA RED	RED DIFFUSED

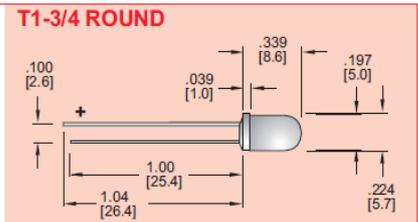
ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS

If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm
20	90	1.8	40°	100	660

MAXIMUM RATINGS

Pd mW	Ifp mA	If mA	Vr V
100	200	40	4

T1-3/4 ROUND



DESCRIPTION

PART NUMBER	RADIATED COLOR	LENS COLOR
L120TR6N	ULTRA RED	RED DIFFUSED

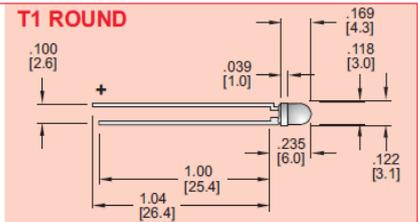
ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS

If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm
20	48	1.8	55°	100	660

MAXIMUM RATINGS

Pd mW	Ifp mA	If mA	Vr V
100	200	40	4

T1 ROUND



660nm ULTRA BRIGHT RED LEDs

NON-STOCKED

DESCRIPTION

PART NUMBER	RADIATED COLOR	LENS COLOR
L203CR7B-6Vf	ULTRA RED	WATER CLEAR

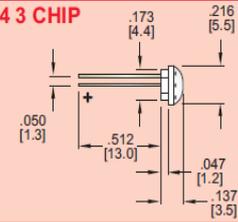
ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS

If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm
15	XXX	5.4	160°	50	660

MAXIMUM RATINGS

Pd mW	Ifp mA	If mA	Vr V
100		17	12

T1-3/4 3 CHIP



DESCRIPTION

PART NUMBER	RADIATED COLOR	LENS COLOR
L206CR7B-4Vf	ULTRA RED	WATER CLEAR

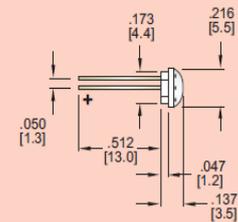
ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS

If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm
45	125	3.4	160°	150	660

MAXIMUM RATINGS

Pd mW	Ifp mA	If mA	Vr V
216		54	8

T1-3/4 6 CHIP



DESCRIPTION

PART NUMBER	RADIATED COLOR	LENS COLOR
L206CR7B-12Vf	ULTRA RED	WATER CLEAR

ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS

If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm
15	200	10.2	160°	50	660

MAXIMUM RATINGS

Pd mW	Ifp mA	If mA	Vr V
216		18	24

DESCRIPTION

PART NUMBER	RADIATED COLOR	LENS COLOR
L375CR7-12Vf-2P	ULTRA RED	WATER CLEAR

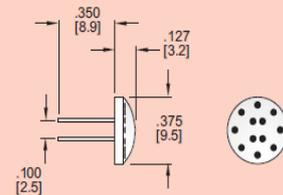
ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS

If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm
30	160	11	160°	100	660

MAXIMUM RATINGS

Pd mW	Ifp mA	If mA	Vr V
525		35	

12 CHIP



DESCRIPTION

PART NUMBER	RADIATED COLOR	LENS COLOR
L375CR7-24Vf-S	ULTRA RED	WATER CLEAR

ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS

If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm
15	160	22	160°	50	660

MAXIMUM RATINGS

Pd mW	Ifp mA	If mA	Vr V
525		18	

660nm ULTRA BRIGHT RED LEDs

DESCRIPTION

PART NUMBER	RADIATED COLOR	LENS COLOR
L575CR7-18VF-2P	ULTRA RED	WATER CLEAR

ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS

If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm
30	300	15	160°	100	660

MAXIMUM RATINGS

Pd mW	Ifp mA	If mA	Vr V
680		35	

DESCRIPTION

PART NUMBER	RADIATED COLOR	LENS COLOR
L575CR7-36VF-S	ULTRA RED	WATER CLEAR

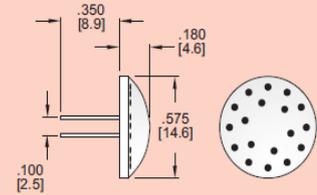
ELECTRO - OPTICAL SPECIFICATIONS

If mA	Iv mcd	Vf V	VIEW ANGLE	Ir μ A	λ P nm
15	300	30	160°	50	660

MAXIMUM RATINGS

Pd mW	Ifp mA	If mA	Vr V
680		17	

18 CHIP



NOTES:

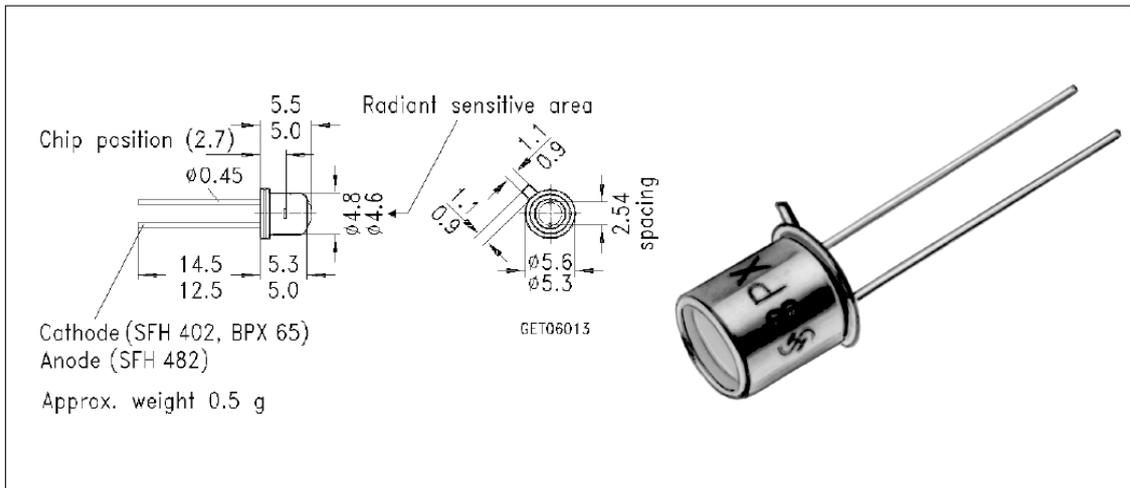
1. MAXIMUM OPERATING TEMPERATURE: -30° TO +85°C.
2. MAXIMUM STORAGE TEMPERATURE: -30°C TO +100°C.

Annexe B

Caractéristiques de la photodiode BPX65

Silizium-PIN-Fotodiode Silicon PIN Photodiode

BPX 65
BPX 66



Maße in mm, wenn nicht anders angegeben/Dimensions in mm, unless otherwise specified.

Wesentliche Merkmale

- Speziell geeignet für Anwendungen im Bereich von 350 nm bis 1100 nm
- BPX 65: Hohe Fotoempfindlichkeit
- BPX 66: Sperrstromarm (typ. 150 pA)
- Hermetisch dichte Metallbauform (TO-18), geeignet bis 125 °C¹⁾

Anwendungen

- schneller optischer Empfänger mit großer Modulationsbandbreite

Features

- Especially suitable for applications from 350 nm to 1100 nm
- BPX 65: high photosensitivity
- BPX 66: low reverse current (typ. 150 pA)
- Hermetically sealed metal package (TO-18), suitable up to 125 °C¹⁾

Applications

- Fast optical sensor of high modulation bandwidth

Typ Type	Bestellnummer Ordering Code	Gehäuse Package
BPX 65	Q62702-P27	18 A3 DIN 41870, planes Glasfenster, hermetisch dichtetes Gehäuse, Lötspieße im 2.54-mm-Raster (² / ₁₀ "), Anodenkennzeichnung: Nase am Gehäuseboden
BPX 66	Q62702-P80	18 A3 DIN 41870, flat glass lens, hermetically sealed package, solder tabs 2.54 mm (² / ₁₀ ") lead spacing, anode marking: projection at package bottom

¹⁾ Eine Abstimmung der Einsatzbedingungen mit dem Hersteller wird empfohlen bei $T_A > 85$ °C

¹⁾ For operating conditions of $T_A > 85$ °C please contact us.

Grenzwerte
Maximum Ratings

Bezeichnung Description	Symbol Symbol	Wert Value	Einheit Unit
Betriebs- und Lagertemperatur Operating and storage temperature range	$T_{op}; T_{stg}$	-40 ... +80	°C
Löttemperatur (Lötstelle 2 mm vom Gehäuse entfernt bei Lötzeit $t \leq 3s$) Soldering temperature in 2 mm distance from case bottom ($t \leq 3s$)	T_S	230	°C
Sperrspannung Reverse voltage	V_R	50	V
Verlustleistung, $T_A = 25\text{ °C}$ Total power dissipation	P_{tot}	250	mW

Kennwerte ($T_A = 25\text{ °C}$, Normlicht A, $T = 2856\text{ K}$)
Characteristics ($T_A = 25\text{ °C}$, standard light A, $T = 2856\text{ K}$)

Bezeichnung Description	Symbol Symbol	Wert Value	Einheit Unit
Fotoempfindlichkeit, $V_R = 5\text{ V}$ Spectral sensitivity	S	10 (≥ 5.5)	nA/lx
Wellenlänge der max. Fotoempfindlichkeit Wavelength of max. sensitivity	$\lambda_{S\text{ max}}$	850	nm
Spektraler Bereich der Fotoempfindlichkeit $S = 10\%$ von S_{max} Spectral range of sensitivity $S = 10\%$ of S_{max}	λ	350 ... 1100	nm
Bestrahlungsempfindliche Fläche Radiant sensitive area	A	1.00	mm ²
Abmessung der bestrahlungsempfindlichen Fläche Dimensions of radiant sensitive area	$L \times B$ $L \times W$	1 x 1	mm
Abstand Chipoberfläche zu Gehäuseoberfläche Distance chip front to case surface	H	2.25 ... 2.55	mm
Halbwinkel Half angle	φ	± 40	Grad deg.

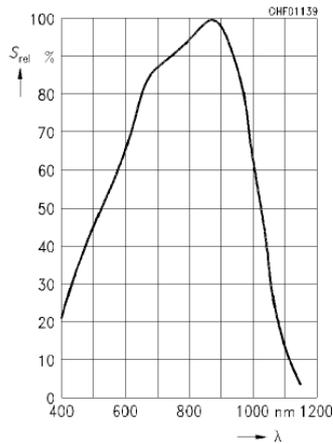
Kennwerte ($T_A = 25\text{ °C}$, Normlicht A, $T = 2856\text{ K}$)

Characteristics ($T_A = 25\text{ °C}$, standard light A, $T = 2856\text{ K}$)

Bezeichnung Description	Symbol Symbol	Wert Value	Einheit Unit
Dunkelstrom Dark current BPX 65: $V_R = 20\text{ V}$ BPX 66: $V_R = 1\text{ V}$	I_R	1 (≤ 5) 0.15 (≤ 0.3)	nA
Spektrale Fotoempfindlichkeit, $\lambda = 850\text{ nm}$ Spectral sensitivity	S_λ	0.55	A/W
Quantenausbeute, $\lambda = 850\text{ nm}$ Quantum yield	η	0.80	Electrons Photon
Leerlaufspannung, $E_V = 1000\text{ lx}$ Open-circuit voltage	V_L	320 (≥ 270)	mV
Kurzschlußstrom, $E_V = 1000\text{ lx}$ Short-circuit current	I_K	10	μA
Anstiegs und Abfallzeit des Fotostromes Rise and fall time of the photocurrent $R_L = 50\ \Omega$; $V_R = 5\text{ V}$; $\lambda = 850\text{ nm}$; $I_p = 800\ \mu\text{A}$	t_r, t_f	12	ns
Durchlaßspannung, $I_F = 100\text{ mA}$, $E = 0$ Forward voltage	V_F	1.3	V
Kapazität, $V_R = 0\text{ V}$, $f = 1\text{ MHz}$, $E = 0$ Capacitance	C_0	11	pF
Temperaturkoeffizient von V_L Temperature coefficient of V_L	TC_V	-2.6	mV/K
Temperaturkoeffizient von I_K Temperature coefficient of I_K	TC_I	0.2	%/K
Rauschäquivalente Strahlungsleistung Noise equivalent power $V_R = 20\text{ V}$, $\lambda = 850\text{ nm}$	NEP	3.3×10^{-14}	$\frac{\text{W}}{\sqrt{\text{Hz}}}$
Nachweisgrenze, $V_R = 20\text{ V}$, $\lambda = 850\text{ nm}$ Detection limit	D^*	3.1×10^{12}	$\frac{\text{cm} \cdot \sqrt{\text{Hz}}}{\text{W}}$

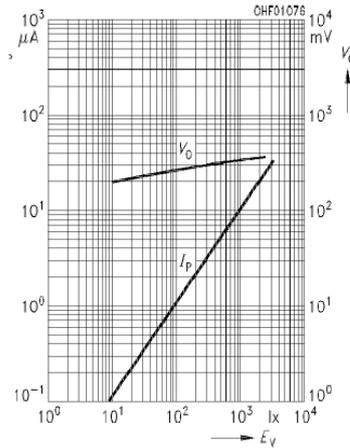
Relative spectral sensitivity

$S_{rel} = f(\lambda)$

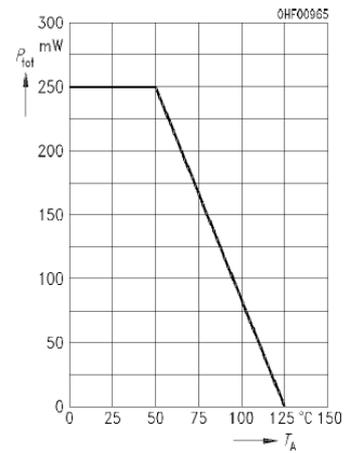


Photocurrent $I_P = f(E_V), V_R = 5\text{ V}$

Open-circuit-voltage $V_L = f(E_V)$

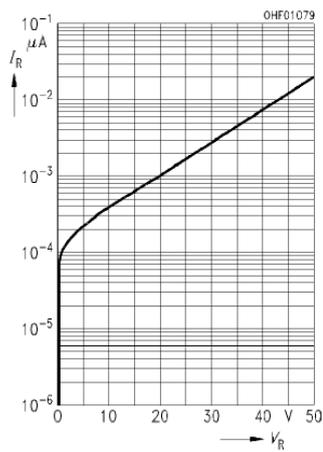


Total power dissipation $P_{tot} = f(T_A)$



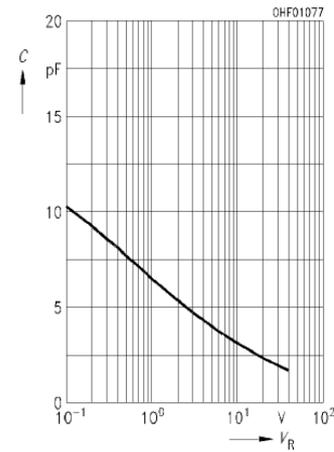
Dark current

$I_R = f(V_R), E = 0$



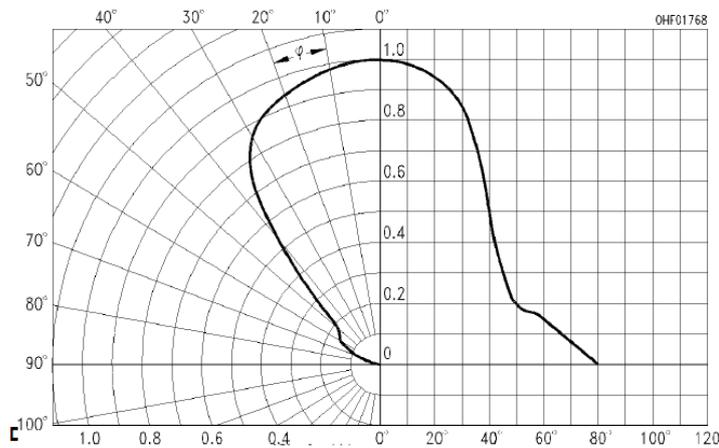
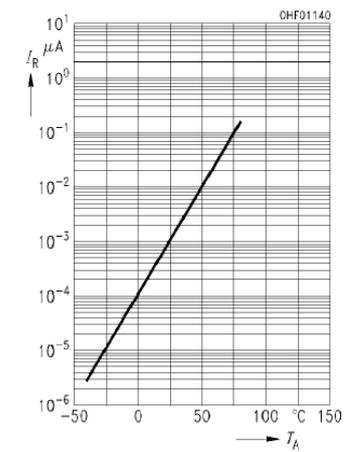
Capacitance

$C = f(V_R), f = 1\text{ MHz}, E = 0$



Dark current

$I_R = f(T_A), V_R = 20\text{ V}, E = 0$



Annexe C

Caractéristiques de la photodiode ORIEL

Détecteurs photodiode Oriel pour puissancemètres optiques



Détecteur Photodiode

- Gamme complète de détecteurs à diode
- Étalonnage traçable NIST
- Réponse linéaire de pW à mW
- sensibilité UV à IR

Cette gamme de détecteurs photodiode fonctionne avec les nouvelles séries 1935-C et 2935-C de puissancemètres optiques Newport, cf. page 1311. Ces photodiodes Si, InGaAs, et Ge fonctionnent en mode photovoltaïque pour de meilleures performances en mode DC ou pour des mesures en basse fréquence. Nous proposons des modèles température ambiante et refroidis par TE. Les modèles étalonnés vous permettant de prendre des mesures spectroradiométriques sur les gammes de détection de ces appareils. Les appareils de mesure 1935-C/2935-C téléchargent les données d'étalonnage stockées sur PROM et les utilisent pour calculer la puissance incidente dans le but de l'afficher et de la transmettre au PC via des interfaces USB et RS-232.

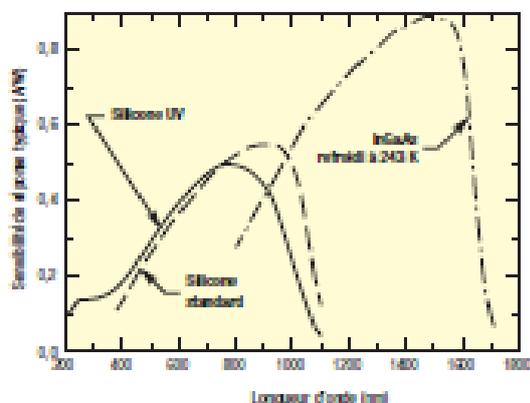


Figure 1 : Sensibilités typiques des détecteurs Si et InGaAs.

Pourquoi un fonctionnement photovoltaïque ?

Nous avons choisi de faire fonctionner cette gamme de photodiodes en mode photovoltaïque non biaisé. Le mode de fonctionnement photovoltaïque permet le plus faible bruit pour le fonctionnement CC et basse fréquence puisqu'il empêche le bruit de grenaille associé aux courants de biais.

Gammes spectrales

La figure 1 présente les sensibilités spectrales typiques des très populaires détecteurs Si et InGaAs. Choisissez les versions UV du détecteur Si si votre travail vous amène sous 400 nm. Ces détecteurs Si sont sensibles jusqu'à 180 nm (au plus bas) et permettent une performance étalonnée jusqu'à 200 nm (au plus bas). La version VIS-NIR des détec-

teurs Si vous octroie la meilleure performance entre 400 nm et 1,0 μm et une performance utilisable jusqu'à 1,1 μm . Utilisez les produits InGaAs pour les longueurs d'onde jusqu'au point de coupure de longueur d'onde 1,7 μm . Ge étend la réponse IR, par rapport au InGaAs, d'environ 0,1 μm .

Nous vous proposons des détecteurs refroidis par TE pour une stabilité accrue de la réponse, et vous permet d'atteindre un niveau de bruit très faible, spécialement pour InGaAs et Ge. Le refroidissement a également un effet sur la sensibilité spectrale, plus spécialement à des longueurs d'onde plus longues. La longueur d'onde de coupure du détecteur permute à des valeurs légèrement plus basses lorsque la température est baissée. Il peut changer d'environ 0,1 μm pour InGaAs ou Ge quand on passe à la température ambiante à 243 K.

De quoi d'autre ai-je besoin ?

Ces détecteurs comprennent tous les câbles nécessaires pour être reliés aux puissancemètres 1935-C et 2935-C. Pour constituer un système complet, il vous faudra simplement :

- Détecteur température ambiante ou refroidi
- Puissancemètre optique de série 1935-C ou 2935-C (choisissez bien un modèle avec refroidisseur TE intégré si vous utilisez un détecteur refroidi)

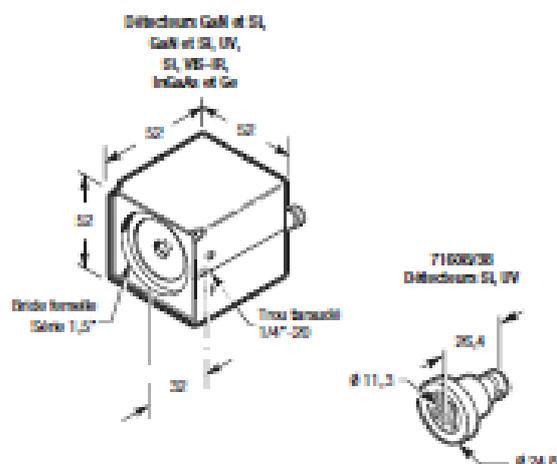


Figure 2 : Détecteur photodiode.

ملخص

الهدف من هذا العمل التجريبي هو استخراج الخصائص الكهربائية و الضوئية لأربع عينات من الثنائيات الباعثة للضوء ذات اطوال موجات مختلفة (565nm, 590nm, 612nm, 660nm). من أجل هذا السبب استخدمنا برنامج *LabView* الذي سمح لنا بحساب هذه الخصائص. لقد قمنا بحساب الخصائص تيار-جهد. استطاعة ضوئية-تيار و الاستجابة الطيفية للثنائيات الباعثة للضوء بطريقة الية. الخصائص المقاسة تعطينا بالتقريب نفس الخصائص المعطاة من طرف المصنع.

الكلمات المفتاحية: ثنائيات باعثة للضوء, تيار-جهد, استطاعة ضوئية-تيار, *LabView*.

Résumé

L'objectif de notre travail expérimental est d'extraire les caractéristiques électriques et optiques de quatre diodes électroluminescentes à longueurs d'ondes différentes (565nm, 590nm, 612nm, 660nm). Pour cette raison, nous avons développé un programme LabView qui nous a permet de déterminer ces caractéristiques. Nous avons mesuré d'une manière automatisée, les caractéristiques courant-tension, puissance optique-courant et la réponse spectrale des quatre diodes électroluminescentes. Nos résultats montrent que les caractéristiques mesurées sont presque les mêmes données par le constructeur.

Mot clés : *Diodes électroluminescentes, courant-tension, puissance optique-courant, réponse spectrale, LabView.*

Abstract

L'objectif de notre travail expérimental est d'extraire les caractéristiques électriques et optiques de quatre diodes électroluminescentes à longueurs d'ondes différentes (565nm, 590nm, 612nm, 660nm). Pour cette raison, nous avons développé un programme LabView qui nous a permet de déterminer ces caractéristiques. Nous avons mesuré d'une manière automatisée, les caractéristiques courant-tension, puissance optique-courant et la réponse spectrale des quatre diodes électroluminescentes. Nos résultats montrent que les caractéristiques mesurées sont presque les mêmes données par le constructeur.

Mot clés : *Diodes électroluminescentes, courant-tension, puissance optique-courant, réponse spectrale, LabView.*