



## AVIS DE SOUTENANCE DE THESE

Le Doyen de la Faculté des Sciences Dhar El Mahraz –Fès – annonce que

Mr **JAOUANE Mohammed**

Soutiendra : le **Lundi 26/06/2023 à 10H00**

Lieu : **FSDM –Département de Mathématiques**

Une thèse intitulée :

### **Single- & Multi-Quantum Dots Optoelectronic Properties and Applications in Intermediate Band Solar Cells**

En vue d'obtenir le **Doctorat**

FD : **Sciences des Matériaux et Procédés Industriels**

Spécialité : **Sciences des matériaux pour l'énergie et l'environnement**

Devant le jury composé comme suit :

Nom et prénom	Etablissement	Grade	Qualité
Pr JORIO Anouar	Faculté des Sciences Dhar El Mahraz, Fès	PES	Président
Pr ZORKANI Izeddine	Faculté des Sciences Dhar El Mahraz, Fès	PES	Rapporteur & examinateur
Pr KEROUAD Mohamed	Faculté des Sciences, Meknès	PES	Rapporteur & examinateur
Pr EL GHAZI Haddou	École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, U.H. II, Casablanca	PH	Rapporteur & examinateur
Pr EL AMRANI Bouchta	Ecole Normale Supérieure, Fès	PES	Examinateur
Pr LIMANE Karoum	Centre Régional Des Métiers De L'Éducation Et De La Formation, Fès-Meknès	PH	Examinateur
Pr RAHMANI Khalid	Ecole Normale Supérieure, Rabat	PH	Examinateur
Pr UNGAN Fatih	SCU, FS, Turquie	Prof. Dr.	Examinateur
Pr SALI Ahmed	Faculté des Sciences Dhar El Mahraz, Fès	PH	Directeur de thèse



## Résumé :

Dans cette étude, nous avons exploré les propriétés optiques et électroniques de points quantiques cylindriques, ainsi que de points quantiques cylindriques à multicouches avec et sans dopant unique, en présence de forces externes telles que la pression hydrostatique, le champ électrique, le champ magnétique et le champ laser. Nous avons utilisé la méthode variationnelle et la méthode des éléments finis, dans le cadre de l'approximation de la masse effective, pour résoudre l'équation de Schrödinger indépendante de temps et calculer les propriétés du système. Dans un premier temps, nous avons examiné le coefficient d'absorption et l'indice de réfraction d'un point quantique cylindrique sous l'influence des champs électrique et laser, en fonction des paramètres de confinement potentiel et de la taille du point quantique. Nous avons constaté que le coefficient d'absorption total et l'indice de réfraction relatif se déplacent vers une énergie plus faible et que leurs extrema diminuent lorsque le rayon augmente. D'autre part, ils se déplacent vers une énergie plus élevée lorsque le champ électrique ou le paramètre d'habillage du laser augmente. Nos résultats indiquent que la présence d'un champ magnétique et d'une pression hydrostatique augmente l'énergie de liaison, avec une augmentation plus prononcée lorsque l'impureté est située plus près du centre de chaque point quantique. En plus, le champ électrique a entraîné l'apparition d'une augmentation de l'énergie de liaison pour l'impureté située sur le côté droit du système et une diminution pour celle située sur le côté gauche. En outre, l'effet de la déformation due au décalage du réseau sur l'énergie de liaison est significatif pour une faible pression hydrostatique au centre des points, mais commence à diminuer lorsque l'impureté se déplace vers le milieu de la barrière. Dans le cas de points quantiques cylindriques à multicouches, la présence d'une pression hydrostatique entraîne le déplacement de la position du pic de résonance vers des énergies plus élevées (décalage vers le bleu). Une augmentation de la pression hydrostatique ou de la composition en indium a produit le déplacement du pic de résonance vers des énergies plus élevées (décalage vers le bleu). Inversement, une augmentation de la température ou du rayon des points quantiques a entraîné un déplacement des pics de coefficients d'absorption optique et de l'indice de réfraction relatif vers des énergies plus faibles (décalage vers le rouge). De plus, nous avons montré que la section efficace de photoionisation du donneur peu profond se déplace vers le rouge lorsque le rayon ou la température augmente, et qu'elle est décalée vers le bleu par le confinement supplémentaire induit par la pression hydrostatique. Pour les cellules solaires à bande intermédiaire à points quantiques pyramidaux en InAs et GaAs, nous avons constaté que la présence de points quantiques a un impact significatif sur les performances de la cellule solaire à bande intermédiaire. Lorsque l'espacement entre les points diminue ou que la hauteur des points quantiques pyramidaux augmente, l'efficacité montre une amélioration significative. Le rendement le plus élevé : 17,8807%, a été obtenu avec neuf points quantiques, une largeur de barrière de 1 nm et une hauteur de points quantiques pyramidaux de 5 nm.

**Mots clés :** Boîte multi-quantiques ; Boîtes quantiques à multicouches ; Impureté du donneur ; Energie de liaison ; Section efficace de photoionisation ; Coefficient d'absorption ; Indice de réfraction ; Efficacité de conversion ; Cellule solaire à bande intermédiaire ; Densité de courant ; Pression hydrostatique ; Champ électrique ; Champ magnétique ; Champ laser.



## SINGLE- & MULTI-QUANTUM DOTS OPTOELECTRONIC PROPERTIES AND APPLICATIONS IN INTERMEDIATE BAND SOLAR CELLS

### Abstract:

In this study, we explored the optical and electronic properties of cylindrical quantum dots, as well as multilayer cylindrical quantum dots with and without a single dopant, in the presence of external forces such as hydrostatic pressure, electric field, magnetic field, and laser field. We used the variational method and finite element method, within the effective mass approximation, to solve the time-independent Schrödinger equation and calculate the properties of the system. Initially, we examined the absorption coefficient and refractive index of a cylindrical quantum dot under the influence of electric and laser fields, as a function of potential confinement parameters and quantum dot size. We found that the total absorption coefficient and relative refractive index shift to lower energy and their extrema decrease as the radius increases. On the other hand, they shift to higher energy as the electric field or laser dressing parameter increases. Our findings indicate that the presence of a magnetic field and hydrostatic pressure increased the binding energy, with a more pronounced increment when the impurity was located closer to the center of each quantum dot. On the other hand, the electric field resulted in the occurrence of an increase in binding energy for impurity situated on the right side of the system and a decrease for that on the left side. Additionally, the effect of strain due to lattice mismatch on the binding energy was significant for low hydrostatic pressure at the center of the dots, but began to decrease as the impurity moved towards the middle of the barrier. In the case of multilayer cylindrical quantum dots. An increase in hydrostatic pressure or indium composition caused the resonance peak position to shift to higher energies (blue-shift). Conversely, an increase in temperature or quantum dot radius resulted in a shift of the peak position of optical absorption coefficients and relative refractive index to lower energies (red-shift). Additionally, we demonstrated that the shallow donor photoionization cross section red-shifts as the radius or temperature increases, and is blue-shifted by the additional confinement induced by hydrostatic pressure. For pyramid quantum dot intermediate band solar cells made of InAs and GaAs, we found that the presence of quantum dots significantly impacts the performance of the intermediate band solar cell. As the space between dots decreases or the height of the pyramid quantum dots increases, the efficiency shows a significant improvement. The highest efficiency, 17.8807, was achieved with nine quantum dots, a barrier width of 1 nm, and a pyramid quantum dot height of 5 nm.

### Key Words :

Multi-quantum dots; Multilayer quantum dots; Donor impurity; Binding energy; Photoionization cross section; Absorption coefficient; Refractive index; Conversion efficiency ; Intermediate band solar cell; Current density; Hydrostatic pressure; Electric field; Magnetic field; Laser field.