

INSERER LE LOGO DE  
L'UNIVERSITÉ PARTENAIRE

## THÈSE

Pour obtenir le grade de

**DOCTEUR DE LA COMMUNAUTE UNIVERSITE  
GRENOBLE ALPES**

**préparée dans le cadre d'une cotutelle entre la  
Communauté Université Grenoble Alpes et ...**

Spécialité : **Indiquer la spécialité qui figure sur votre carte  
d'étudiant**

Arrêté ministériel : le 6 janvier 2005 - 7 août 2006

Présentée par

**Alban LAFUENTE-SAMPIETRO**

Thèse dirigée par **Lucien BESOMBES** et **Shinji SKURODA**  
codirigée par **Hervé BOUKARI**

préparée au sein de l'**Institut Néel** et de l'**Université de Tsukuba**  
dans **les Écoles Doctorales ...**

## Titre de la thèse en français

Thèse soutenue publiquement le **26 janvier 2018**,  
devant le jury composé de :

**Civilité, Prénom, NOM**

Fonction et lieu de la fonction, rôle (Président, Rapporteur, Membre)

**Civilité, Prénom, NOM**

Fonction et lieu de la fonction, rôle (Président, Rapporteur, Membre)

**Civilité, Prénom, NOM**

Fonction et lieu de la fonction, rôle (Président, Rapporteur, Membre)

**Civilité, Prénom, NOM**

Fonction et lieu de la fonction, rôle (Président, Rapporteur, Membre)





# Introduction

Constructing a quantum computer is one of the challenge of this century. The core component of this computer is the *qbit*, quantum bits. Instead of regular bits, that can take the states (values)  $|0\rangle$  and  $|1\rangle$ , the *qbits*, being quantum devices, can also be in a superposition of states,  $\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$ . There is therefore a need of two level quantum systems that can be easily prepared and controlled, with a lifetime longer than the calculation time of the computer (a few tens of picoseconds).

One promising system is the quantum dots (QDs): small islands, with a characteristic size of a few nanometers, of semiconductor embedded in a semiconductor of wider gap. Carriers can be injected in the QD, were they are confined in three dimensions. This confinement leads to a quantization of the carriers energy, akin to the energy level of the electrons in an isolated atom. For this reason, they are dubbed "artificial atom". It has be shown that these structure can be used to control electrically or optically the spin of the injected carriers [1, 2]. The coherence time of the spin of the carriers in a quantum dot is of hundreds of picoseconds [3]. This can be enough for the calculation. However, it is too short for stocking information between two operations.

In order to get a longer coherence time, NV centers [3] or atomic spins directly inserted in the semiconductors [4] can be used. However, in those system, the spin are harder to control than the spins of carriers in QDs.

Another approach arises from the Diluted Magnetic Semiconductors. It was shown that, in such materials, there was a strong interaction between the carriers and the magnetic atoms spins. Inserting magnetic atoms in QD, it is possible to use this interaction to control their spins with the injected carriers. In this thesis, the reasoning goes to its limit, inserting a single magnetic atom in a QD, and controlling it optically. Such individual spins are promising for the implementation of emerging quantum information technologies in the solid state [5–8]. Magnetic dopants in conventional semiconductors present many desirable features, such as reproducible quantum properties, stability, and potential scalability for further applications [9]. Thanks to their point-like character, a longer spin coherence time (compared to carriers' spins) can also be expected at low temperature, making them potentially good systems to store quantum information.

Table 1: List of different possible transition metals and their key properties in the context of our study.

Inserted atom	V <sup>2+</sup>	Cr <sup>2+</sup>	Mn <sup>2+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Co <sup>2+</sup>	Ni <sup>2+</sup>	Cu <sup>2+</sup>
<i>d</i> -shell	<i>d</i> <sup>3</sup>	<i>d</i> <sup>4</sup>	<i>d</i> <sup>5</sup>	<i>d</i> <sup>6</sup>	<i>d</i> <sup>7</sup>	<i>d</i> <sup>8</sup>	<i>d</i> <sup>9</sup>
Electronic spin	3/2	2	5/2	2	3/2	1	1/2
Nuclear spin	7/2	0	5/2	0	7/2	0	3/2

The control of the spin state of individual [10–15] or pairs [16, 17] of magnetic atoms has been demonstrated. The spin of a magnetic atom in a QD can be prepared by the injection of spin polarized carriers and its state can be read through the energy and polarization of the photons emitted by the QD [18–20]. The insertion of a magnetic atom in a QD where the strain or the charge states can be controlled also offers degrees of freedom to tune the properties of the localized spin such as its magnetic anisotropy responsible for the spin memory at zero magnetic field [21].

Tab. 1 lists the different magnetic atoms that can be inserted in a semiconductor lattice. Each of those atoms has a unique set of electronic spin, nuclear spin and orbital momentum. Those properties changes the behaviour of the magnetic atom inserted in the semiconductor matrix, and it is therefore interesting to have a large choice. Mn was the first atom to be successfully inserted and optically probed in CdTe/ZnTe QDs, in 2004 [10]. Since then, several other magnetic atoms have been embedded in II-VI QDs and studied: Co (2014) [22] and Fe (2016) [23].

In this thesis, I propose to study two systems that are promising for the realization of spin *qbit* coupled to strains: the hole-Mn hybrid spin and the spin of a Cr atom in a QD. Growth of the Mn-doped QDs were grown in Grenoble, in the INAC-CNRS joined team NPSC, by Hervé Boukari. The Cr-doped QDs were grown in Tsukuba, in the team of Pr. Shinji Kuroda, by Hayato Ustumi, Masahiro Sunaga and myself. I studied the dots in Grenoble, with the help of Lucien Besombes.

This thesis is organized as follows:

**Chapter II** I present in this chapter the system we will study as well as the main theoretical tools one needs to understand it. It presents the main theory we need to describe the semiconductor matrix and the quantum dot. We then propose a model for the interaction between the carrier and the magnetic, and apply it to the Mn and the Cr. Finally, we look at how the semiconductor matrix modify the Mn and Cr spin structure.

**Chapter I** I discuss in this chapter the growth of the quantum dots. Donec a nibh ut elit vestibulum tristique. Integer at pede. Cras volutpat varius magna.

---

Phasellus eu wisi. Praesent risus justo, lobortis eget, scelerisque ac, aliquet in, dolor. Proin id leo. Nunc iaculis, mi vitae accumsan commodo, neque sem lacinia nulla, quis vestibulum justo sem in eros. Quisque sed massa. Morbi lectus ipsum, vulputate a, mollis ut, accumsan placerat, tellus. Nullam in wisi. Vivamus eu ligula a nunc accumsan congue. Suspendisse ac libero. Aliquam erat volutpat. Donec augue. Nunc venenatis fringilla nibh. Fusce accumsan pulvinar justo. Nullam semper, dui ut dignissim auctor, orci libero fringilla massa, blandit pulvinar pede tortor id magna. Nunc adipiscing justo sed velit tincidunt fermentum.

**Chapter III** Mauris tempus eros at nulla. Sed quis dui dignissim mauris pretium tincidunt. Mauris ac purus. Phasellus ac libero. Etiam dapibus iaculis nunc. In lectus wisi, elementum eu, sollicitudin nec, imperdiet quis, dui. Nulla viverra neque ac libero. Mauris urna leo, adipiscing eu, ultrices non, blandit eu, dui. Maecenas dui neque, suscipit sit amet, rutrum a, laoreet in, eros. Ut eu nibh. Fusce nec erat tempus urna fringilla tempus. Curabitur id enim. Sed ante. Cras sodales enim sit amet wisi. Nunc fermentum consequat quam.

**Chapter IV** Quisque consectetur. In suscipit mauris a dolor pellentesque consectetur. Mauris convallis neque non erat. In lacinia. Pellentesque leo eros, sagittis quis, fermentum quis, tincidunt ut, sapien. Maecenas sem. Curabitur eros odio, interdum eu, feugiat eu, porta ac, nisl. Curabitur nunc. Etiam fermentum convallis velit. Pellentesque laoreet lacus. Quisque sed elit. Nam quis tellus. Aliquam tellus arcu, adipiscing non, tincidunt eleifend, adipiscing quis, augue. Vivamus elementum placerat enim. Suspendisse ut tortor. Integer faucibus adipiscing felis. Aenean consectetur mattis lectus. Morbi malesuada faucibus dolor. Nam lacus. Etiam arcu libero, malesuada vitae, aliquam vitae, blandit tristique, nisl.

**Chapter V** Sed eleifend, eros sit amet faucibus elementum, urna sapien consectetur mauris, quis egestas leo justo non risus. Morbi non felis ac libero vulputate fringilla. Mauris libero eros, lacinia non, sodales quis, dapibus porttitor, pede. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Morbi dapibus mauris condimentum nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Etiam sit amet erat. Nulla varius. Etiam tincidunt dui vitae turpis. Donec leo. Morbi vulputate convallis est. Integer aliquet. Pellentesque aliquet sodales urna.



# Contents

**Introduction**

**I**

**test**

I.1	test1 . . . . .	1
I.2	test2 . . . . .	1
I.2.1	test3 . . . . .	1
I.2.2	test4 . . . . .	2

**II**

**testn**

II.1	tarantino . . . . .	3
------	---------------------	---

**III**

**test**

III.1	test1 . . . . .	5
III.2	test2 . . . . .	5
III.2.1	test3 . . . . .	5
III.2.2	test4 . . . . .	6

**IV**

**testn**

IV.1	tarantino . . . . .	7
------	---------------------	---

**V**

**test**

V.1 test1 . . . . .	9
V.2 test2 . . . . .	9
V.2.1 test3 . . . . .	9
V.2.2 test4 . . . . .	10

**VI**

**testn**

VI.1 tarantino . . . . .	11
--------------------------	----

**VII**

**test**

VII.1test1 . . . . .	13
VII.2test2 . . . . .	13
VII.2.1 test3 . . . . .	13
VII.2.2test4 . . . . .	14

**VIII**

**testn**

VIII.1 tarantino . . . . .	15
----------------------------	----

**IX**

**test**

IX.1 test1 . . . . .	17
IX.2 test2 . . . . .	17
IX.2.1 test3 . . . . .	17
IX.2.2 test4 . . . . .	18

**X**

**testn**

X.1 tarantino . . . . .	19
-------------------------	----



---

**XI****test**

XI.1 test1 . . . . .	21
XI.2 test2 . . . . .	21
XI.2.1 test3 . . . . .	21
XI.2.2 test4 . . . . .	22

**XII****testn**

XII.1tarantino . . . . .	23
--------------------------	----

**XIII****test**

XIII.1 test1 . . . . .	25
XIII.2 test2 . . . . .	25
XIII.2.1 test3 . . . . .	25
XIII.2.2 test4 . . . . .	26

**XIV****testn**

XIV.1 tarantino . . . . .	27
---------------------------	----

**XV****test**

XV.1test1 . . . . .	29
XV.2test2 . . . . .	29
XV.2.1 test3 . . . . .	29
XV.2.2 test4 . . . . .	30

**XVI****testn**

XVI.1 tarantino . . . . .	31
---------------------------	----

**XVII**

**test**

XVII.1 test1 . . . . .	33
XVII.2 test2 . . . . .	33
XVII.2.1 test3 . . . . .	33
XVII.2.2 test4 . . . . .	34

**XVIII**

**testn**

XVIII.1 tarantino . . . . .	35
-----------------------------	----

**XIX**

**test**

XIX.1 test1 . . . . .	37
XIX.2 test2 . . . . .	37
XIX.2.1 test3 . . . . .	37
XIX.2.2 test4 . . . . .	38

**XX**

**testn**

XX.1tarantino . . . . .	39
-------------------------	----

**Bibliography**

# Chapter I

## test

### I.1 test1

Suspendisse vitae elit. Aliquam arcu neque, ornare in, ullamcorper quis, commodo eu, libero. Fusce sagittis erat at erat tristique mollis. Maecenas sapien libero, molestie et, lobortis in, sodales eget, dui. Morbi ultrices rutrum lorem. Nam elementum ullamcorper leo. Morbi dui. Aliquam sagittis. Nunc placerat. Pellentesque tristique sodales est. Maecenas imperdiet lacinia velit. Cras non urna. Morbi eros pede, suscipit ac, varius vel, egestas non, eros. Praesent malesuada, diam id pretium elementum, eros sem dictum tortor, vel consectetur odio sem sed wisi.

### I.2 test2

#### I.2.1 test3

Nulla ac nisl. Nullam urna nulla, ullamcorper in, interdum sit amet, gravida ut, risus. Aenean ac enim. In luctus. Phasellus eu quam vitae turpis viverra pellentesque. Duis feugiat felis ut enim. Phasellus pharetra, sem id porttitor sodales, magna nunc aliquet nibh, nec blandit nisl mauris at pede. Suspendisse risus risus, lobortis eget, semper at, imperdiet sit amet, quam. Quisque scelerisque dapibus nibh. Nam enim. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nunc ut metus. Ut metus justo, auctor at, ultrices eu, sagittis ut, purus. Aliquam aliquam.

### I.2.2 test4

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

# Chapter II

## testn

### II.1 tarantino

Suspendisse vitae elit. Aliquam arcu neque, ornare in, ullamcorper quis, commodo eu, libero. Fusce sagittis erat at erat tristique mollis. Maecenas sapien libero, molestie et, lobortis in, sodales eget, dui. Morbi ultrices rutrum lorem. Nam elementum ullamcorper leo. Morbi dui. Aliquam sagittis. Nunc placerat. Pellentesque tristique sodales est. Maecenas imperdiet lacinia velit. Cras non urna. Morbi eros pede, suscipit ac, varius vel, egestas non, eros. Praesent malesuada, diam id pretium elementum, eros sem dictum tortor, vel consectetur odio sem sed wisi.



# Chapter III

## test

### III.1 test1

Suspendisse vitae elit. Aliquam arcu neque, ornare in, ullamcorper quis, commodo eu, libero. Fusce sagittis erat at erat tristique mollis. Maecenas sapien libero, molestie et, lobortis in, sodales eget, dui. Morbi ultrices rutrum lorem. Nam elementum ullamcorper leo. Morbi dui. Aliquam sagittis. Nunc placerat. Pellentesque tristique sodales est. Maecenas imperdiet lacinia velit. Cras non urna. Morbi eros pede, suscipit ac, varius vel, egestas non, eros. Praesent malesuada, diam id pretium elementum, eros sem dictum tortor, vel consectetur odio sem sed wisi.

### III.2 test2

#### III.2.1 test3

Nulla ac nisl. Nullam urna nulla, ullamcorper in, interdum sit amet, gravida ut, risus. Aenean ac enim. In luctus. Phasellus eu quam vitae turpis viverra pellentesque. Duis feugiat felis ut enim. Phasellus pharetra, sem id porttitor sodales, magna nunc aliquet nibh, nec blandit nisl mauris at pede. Suspendisse risus risus, lobortis eget, semper at, imperdiet sit amet, quam. Quisque scelerisque dapibus nibh. Nam enim. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nunc ut metus. Ut metus justo, auctor at, ultrices eu, sagittis ut, purus. Aliquam aliquam.

### III.2.2 test4

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.



# Chapter IV

## testn

### IV.1 tarantino

Suspendisse vitae elit. Aliquam arcu neque, ornare in, ullamcorper quis, commodo eu, libero. Fusce sagittis erat at erat tristique mollis. Maecenas sapien libero, molestie et, lobortis in, sodales eget, dui. Morbi ultrices rutrum lorem. Nam elementum ullamcorper leo. Morbi dui. Aliquam sagittis. Nunc placerat. Pellentesque tristique sodales est. Maecenas imperdiet lacinia velit. Cras non urna. Morbi eros pede, suscipit ac, varius vel, egestas non, eros. Praesent malesuada, diam id pretium elementum, eros sem dictum tortor, vel consectetur odio sem sed wisi.



# Chapter V

## test

### V.1 test1

Suspendisse vitae elit. Aliquam arcu neque, ornare in, ullamcorper quis, commodo eu, libero. Fusce sagittis erat at erat tristique mollis. Maecenas sapien libero, molestie et, lobortis in, sodales eget, dui. Morbi ultrices rutrum lorem. Nam elementum ullamcorper leo. Morbi dui. Aliquam sagittis. Nunc placerat. Pellentesque tristique sodales est. Maecenas imperdiet lacinia velit. Cras non urna. Morbi eros pede, suscipit ac, varius vel, egestas non, eros. Praesent malesuada, diam id pretium elementum, eros sem dictum tortor, vel consectetur odio sem sed wisi.

### V.2 test2

#### V.2.1 test3

Nulla ac nisl. Nullam urna nulla, ullamcorper in, interdum sit amet, gravida ut, risus. Aenean ac enim. In luctus. Phasellus eu quam vitae turpis viverra pellentesque. Duis feugiat felis ut enim. Phasellus pharetra, sem id porttitor sodales, magna nunc aliquet nibh, nec blandit nisl mauris at pede. Suspendisse risus risus, lobortis eget, semper at, imperdiet sit amet, quam. Quisque scelerisque dapibus nibh. Nam enim. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nunc ut metus. Ut metus justo, auctor at, ultrices eu, sagittis ut, purus. Aliquam aliquam.

### V.2.2 test4

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

# Chapter VI

## testn

### VI.1 tarantino

Suspendisse vitae elit. Aliquam arcu neque, ornare in, ullamcorper quis, commodo eu, libero. Fusce sagittis erat at erat tristique mollis. Maecenas sapien libero, molestie et, lobortis in, sodales eget, dui. Morbi ultrices rutrum lorem. Nam elementum ullamcorper leo. Morbi dui. Aliquam sagittis. Nunc placerat. Pellentesque tristique sodales est. Maecenas imperdiet lacinia velit. Cras non urna. Morbi eros pede, suscipit ac, varius vel, egestas non, eros. Praesent malesuada, diam id pretium elementum, eros sem dictum tortor, vel consectetur odio sem sed wisi.



# Chapter VII

## test

### VII.1 test1

Suspendisse vitae elit. Aliquam arcu neque, ornare in, ullamcorper quis, commodo eu, libero. Fusce sagittis erat at erat tristique mollis. Maecenas sapien libero, molestie et, lobortis in, sodales eget, dui. Morbi ultrices rutrum lorem. Nam elementum ullamcorper leo. Morbi dui. Aliquam sagittis. Nunc placerat. Pellentesque tristique sodales est. Maecenas imperdiet lacinia velit. Cras non urna. Morbi eros pede, suscipit ac, varius vel, egestas non, eros. Praesent malesuada, diam id pretium elementum, eros sem dictum tortor, vel consectetur odio sem sed wisi.

### VII.2 test2

#### VII.2.1 test3

Nulla ac nisl. Nullam urna nulla, ullamcorper in, interdum sit amet, gravida ut, risus. Aenean ac enim. In luctus. Phasellus eu quam vitae turpis viverra pellentesque. Duis feugiat felis ut enim. Phasellus pharetra, sem id porttitor sodales, magna nunc aliquet nibh, nec blandit nisl mauris at pede. Suspendisse risus risus, lobortis eget, semper at, imperdiet sit amet, quam. Quisque scelerisque dapibus nibh. Nam enim. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nunc ut metus. Ut metus justo, auctor at, ultrices eu, sagittis ut, purus. Aliquam aliquam.

## VII.2.2 test4

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.



# Chapter VIII

## testn

### VIII.1 tarantino

Suspendisse vitae elit. Aliquam arcu neque, ornare in, ullamcorper quis, commodo eu, libero. Fusce sagittis erat at erat tristique mollis. Maecenas sapien libero, molestie et, lobortis in, sodales eget, dui. Morbi ultrices rutrum lorem. Nam elementum ullamcorper leo. Morbi dui. Aliquam sagittis. Nunc placerat. Pellentesque tristique sodales est. Maecenas imperdiet lacinia velit. Cras non urna. Morbi eros pede, suscipit ac, varius vel, egestas non, eros. Praesent malesuada, diam id pretium elementum, eros sem dictum tortor, vel consectetur odio sem sed wisi.



# Chapter IX

## test

### IX.1 test1

Suspendisse vitae elit. Aliquam arcu neque, ornare in, ullamcorper quis, commodo eu, libero. Fusce sagittis erat at erat tristique mollis. Maecenas sapien libero, molestie et, lobortis in, sodales eget, dui. Morbi ultrices rutrum lorem. Nam elementum ullamcorper leo. Morbi dui. Aliquam sagittis. Nunc placerat. Pellentesque tristique sodales est. Maecenas imperdiet lacinia velit. Cras non urna. Morbi eros pede, suscipit ac, varius vel, egestas non, eros. Praesent malesuada, diam id pretium elementum, eros sem dictum tortor, vel consectetur odio sem sed wisi.

### IX.2 test2

#### IX.2.1 test3

Nulla ac nisl. Nullam urna nulla, ullamcorper in, interdum sit amet, gravida ut, risus. Aenean ac enim. In luctus. Phasellus eu quam vitae turpis viverra pellentesque. Duis feugiat felis ut enim. Phasellus pharetra, sem id porttitor sodales, magna nunc aliquet nibh, nec blandit nisl mauris at pede. Suspendisse risus risus, lobortis eget, semper at, imperdiet sit amet, quam. Quisque scelerisque dapibus nibh. Nam enim. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nunc ut metus. Ut metus justo, auctor at, ultrices eu, sagittis ut, purus. Aliquam aliquam.

## IX.2.2 test4

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

# Chapter X

## testn

### X.1 tarantino

Suspendisse vitae elit. Aliquam arcu neque, ornare in, ullamcorper quis, commodo eu, libero. Fusce sagittis erat at erat tristique mollis. Maecenas sapien libero, molestie et, lobortis in, sodales eget, dui. Morbi ultrices rutrum lorem. Nam elementum ullamcorper leo. Morbi dui. Aliquam sagittis. Nunc placerat. Pellentesque tristique sodales est. Maecenas imperdiet lacinia velit. Cras non urna. Morbi eros pede, suscipit ac, varius vel, egestas non, eros. Praesent malesuada, diam id pretium elementum, eros sem dictum tortor, vel consectetur odio sem sed wisi.



# Chapter XI

## test

### XI.1 test1

Suspendisse vitae elit. Aliquam arcu neque, ornare in, ullamcorper quis, commodo eu, libero. Fusce sagittis erat at erat tristique mollis. Maecenas sapien libero, molestie et, lobortis in, sodales eget, dui. Morbi ultrices rutrum lorem. Nam elementum ullamcorper leo. Morbi dui. Aliquam sagittis. Nunc placerat. Pellentesque tristique sodales est. Maecenas imperdiet lacinia velit. Cras non urna. Morbi eros pede, suscipit ac, varius vel, egestas non, eros. Praesent malesuada, diam id pretium elementum, eros sem dictum tortor, vel consectetur odio sem sed wisi.

### XI.2 test2

#### XI.2.1 test3

Nulla ac nisl. Nullam urna nulla, ullamcorper in, interdum sit amet, gravida ut, risus. Aenean ac enim. In luctus. Phasellus eu quam vitae turpis viverra pellentesque. Duis feugiat felis ut enim. Phasellus pharetra, sem id porttitor sodales, magna nunc aliquet nibh, nec blandit nisl mauris at pede. Suspendisse risus risus, lobortis eget, semper at, imperdiet sit amet, quam. Quisque scelerisque dapibus nibh. Nam enim. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nunc ut metus. Ut metus justo, auctor at, ultrices eu, sagittis ut, purus. Aliquam aliquam.

## XI.2.2 test4

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.



# Chapter XII

## testn

### XII.1 tarantino

Suspendisse vitae elit. Aliquam arcu neque, ornare in, ullamcorper quis, commodo eu, libero. Fusce sagittis erat at erat tristique mollis. Maecenas sapien libero, molestie et, lobortis in, sodales eget, dui. Morbi ultrices rutrum lorem. Nam elementum ullamcorper leo. Morbi dui. Aliquam sagittis. Nunc placerat. Pellentesque tristique sodales est. Maecenas imperdiet lacinia velit. Cras non urna. Morbi eros pede, suscipit ac, varius vel, egestas non, eros. Praesent malesuada, diam id pretium elementum, eros sem dictum tortor, vel consectetur odio sem sed wisi.



# Chapter XIII

## test

### XIII.1 test1

Suspendisse vitae elit. Aliquam arcu neque, ornare in, ullamcorper quis, commodo eu, libero. Fusce sagittis erat at erat tristique mollis. Maecenas sapien libero, molestie et, lobortis in, sodales eget, dui. Morbi ultrices rutrum lorem. Nam elementum ullamcorper leo. Morbi dui. Aliquam sagittis. Nunc placerat. Pellentesque tristique sodales est. Maecenas imperdiet lacinia velit. Cras non urna. Morbi eros pede, suscipit ac, varius vel, egestas non, eros. Praesent malesuada, diam id pretium elementum, eros sem dictum tortor, vel consectetur odio sem sed wisi.

### XIII.2 test2

#### XIII.2.1 test3

Nulla ac nisl. Nullam urna nulla, ullamcorper in, interdum sit amet, gravida ut, risus. Aenean ac enim. In luctus. Phasellus eu quam vitae turpis viverra pellentesque. Duis feugiat felis ut enim. Phasellus pharetra, sem id porttitor sodales, magna nunc aliquet nibh, nec blandit nisl mauris at pede. Suspendisse risus risus, lobortis eget, semper at, imperdiet sit amet, quam. Quisque scelerisque dapibus nibh. Nam enim. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nunc ut metus. Ut metus justo, auctor at, ultrices eu, sagittis ut, purus. Aliquam aliquam.

## XIII.2.2 test4

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

# Chapter XIV

## testn

### XIV.1 tarantino

Suspendisse vitae elit. Aliquam arcu neque, ornare in, ullamcorper quis, commodo eu, libero. Fusce sagittis erat at erat tristique mollis. Maecenas sapien libero, molestie et, lobortis in, sodales eget, dui. Morbi ultrices rutrum lorem. Nam elementum ullamcorper leo. Morbi dui. Aliquam sagittis. Nunc placerat. Pellentesque tristique sodales est. Maecenas imperdiet lacinia velit. Cras non urna. Morbi eros pede, suscipit ac, varius vel, egestas non, eros. Praesent malesuada, diam id pretium elementum, eros sem dictum tortor, vel consectetur odio sem sed wisi.



# Chapter XV

## test

### XV.1 test1

Suspendisse vitae elit. Aliquam arcu neque, ornare in, ullamcorper quis, commodo eu, libero. Fusce sagittis erat at erat tristique mollis. Maecenas sapien libero, molestie et, lobortis in, sodales eget, dui. Morbi ultrices rutrum lorem. Nam elementum ullamcorper leo. Morbi dui. Aliquam sagittis. Nunc placerat. Pellentesque tristique sodales est. Maecenas imperdiet lacinia velit. Cras non urna. Morbi eros pede, suscipit ac, varius vel, egestas non, eros. Praesent malesuada, diam id pretium elementum, eros sem dictum tortor, vel consectetur odio sem sed wisi.

### XV.2 test2

#### XV.2.1 test3

Nulla ac nisl. Nullam urna nulla, ullamcorper in, interdum sit amet, gravida ut, risus. Aenean ac enim. In luctus. Phasellus eu quam vitae turpis viverra pellentesque. Duis feugiat felis ut enim. Phasellus pharetra, sem id porttitor sodales, magna nunc aliquet nibh, nec blandit nisl mauris at pede. Suspendisse risus risus, lobortis eget, semper at, imperdiet sit amet, quam. Quisque scelerisque dapibus nibh. Nam enim. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nunc ut metus. Ut metus justo, auctor at, ultrices eu, sagittis ut, purus. Aliquam aliquam.

## XV.2.2 test4

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.



# Chapter XVI

## testn

### XVI.1 tarantino

Suspendisse vitae elit. Aliquam arcu neque, ornare in, ullamcorper quis, commodo eu, libero. Fusce sagittis erat at erat tristique mollis. Maecenas sapien libero, molestie et, lobortis in, sodales eget, dui. Morbi ultrices rutrum lorem. Nam elementum ullamcorper leo. Morbi dui. Aliquam sagittis. Nunc placerat. Pellentesque tristique sodales est. Maecenas imperdiet lacinia velit. Cras non urna. Morbi eros pede, suscipit ac, varius vel, egestas non, eros. Praesent malesuada, diam id pretium elementum, eros sem dictum tortor, vel consectetur odio sem sed wisi.



# Chapter XVII

## test

### XVII.1 test1

Suspendisse vitae elit. Aliquam arcu neque, ornare in, ullamcorper quis, commodo eu, libero. Fusce sagittis erat at erat tristique mollis. Maecenas sapien libero, molestie et, lobortis in, sodales eget, dui. Morbi ultrices rutrum lorem. Nam elementum ullamcorper leo. Morbi dui. Aliquam sagittis. Nunc placerat. Pellentesque tristique sodales est. Maecenas imperdiet lacinia velit. Cras non urna. Morbi eros pede, suscipit ac, varius vel, egestas non, eros. Praesent malesuada, diam id pretium elementum, eros sem dictum tortor, vel consectetur odio sem sed wisi.

### XVII.2 test2

#### XVII.2.1 test3

Nulla ac nisl. Nullam urna nulla, ullamcorper in, interdum sit amet, gravida ut, risus. Aenean ac enim. In luctus. Phasellus eu quam vitae turpis viverra pellentesque. Duis feugiat felis ut enim. Phasellus pharetra, sem id porttitor sodales, magna nunc aliquet nibh, nec blandit nisl mauris at pede. Suspendisse risus risus, lobortis eget, semper at, imperdiet sit amet, quam. Quisque scelerisque dapibus nibh. Nam enim. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nunc ut metus. Ut metus justo, auctor at, ultrices eu, sagittis ut, purus. Aliquam aliquam.

## XVII.2.2 test4

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

# Chapter XVIII

## testn

### XVIII.1 tarantino

Suspendisse vitae elit. Aliquam arcu neque, ornare in, ullamcorper quis, commodo eu, libero. Fusce sagittis erat at erat tristique mollis. Maecenas sapien libero, molestie et, lobortis in, sodales eget, dui. Morbi ultrices rutrum lorem. Nam elementum ullamcorper leo. Morbi dui. Aliquam sagittis. Nunc placerat. Pellentesque tristique sodales est. Maecenas imperdiet lacinia velit. Cras non urna. Morbi eros pede, suscipit ac, varius vel, egestas non, eros. Praesent malesuada, diam id pretium elementum, eros sem dictum tortor, vel consectetur odio sem sed wisi.



# Chapter XIX

## test

### XIX.1 test1

Suspendisse vitae elit. Aliquam arcu neque, ornare in, ullamcorper quis, commodo eu, libero. Fusce sagittis erat at erat tristique mollis. Maecenas sapien libero, molestie et, lobortis in, sodales eget, dui. Morbi ultrices rutrum lorem. Nam elementum ullamcorper leo. Morbi dui. Aliquam sagittis. Nunc placerat. Pellentesque tristique sodales est. Maecenas imperdiet lacinia velit. Cras non urna. Morbi eros pede, suscipit ac, varius vel, egestas non, eros. Praesent malesuada, diam id pretium elementum, eros sem dictum tortor, vel consectetur odio sem sed wisi.

### XIX.2 test2

#### XIX.2.1 test3

Nulla ac nisl. Nullam urna nulla, ullamcorper in, interdum sit amet, gravida ut, risus. Aenean ac enim. In luctus. Phasellus eu quam vitae turpis viverra pellentesque. Duis feugiat felis ut enim. Phasellus pharetra, sem id porttitor sodales, magna nunc aliquet nibh, nec blandit nisl mauris at pede. Suspendisse risus risus, lobortis eget, semper at, imperdiet sit amet, quam. Quisque scelerisque dapibus nibh. Nam enim. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nunc ut metus. Ut metus justo, auctor at, ultrices eu, sagittis ut, purus. Aliquam aliquam.

## **XIX.2.2 test4**

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.



# Chapter XX

## testn

### XX.1 tarantino

Suspendisse vitae elit. Aliquam arcu neque, ornare in, ullamcorper quis, commodo eu, libero. Fusce sagittis erat at erat tristique mollis. Maecenas sapien libero, molestie et, lobortis in, sodales eget, dui. Morbi ultrices rutrum lorem. Nam elementum ullamcorper leo. Morbi dui. Aliquam sagittis. Nunc placerat. Pellentesque tristique sodales est. Maecenas imperdiet lacinia velit. Cras non urna. Morbi eros pede, suscipit ac, varius vel, egestas non, eros. Praesent malesuada, diam id pretium elementum, eros sem dictum tortor, vel consectetur odio sem sed wisi.



# Bibliography

- <sup>1</sup>A. Grelich, D. R. Yakovlev, A. Shabaev, A. L. Efros, I. A. Yugova, R. Oulton, V. Stavarache, D. Reuter, A. Wieck, and M. Bayer, “Mode locking of electron spin coherences in singly charged quantum dots”, [Science](#) **313**, 341–345 (2006).
- <sup>2</sup>D. Press, T. D. Ladd, B. Zhang, and Y. Yamamoto, “Complete quantum control of a single quantum dot spin using ultrafast optical pulses”, [Nature](#) **456** (2008).
- <sup>3</sup>G. D. Fuchs, G. Burkard, P. V. Klimov, and D. D. Awschalom, “A quantum memory intrinsic to single nitrogen–vacancy centres in diamond”, [Nature Physics](#) **7** (2011).
- <sup>4</sup>M. Pierre, R. Wacquez, X. Jehl, M. Sanquer, M. Vinet, and O. Cueto, “Single-donor ionization energies in a nanoscale CMOS channel”, [Nature Nanotechnology](#) **5** (2009).
- <sup>5</sup>J. R. Petta, A. C. Johnson, J. M. Taylor, E. A. Laird, A. Yacoby, M. D. Lukin, C. M. Marcus, M. P. Hanson, and A. C. Gossard, “Coherent manipulation of coupled electron spins in semiconductor quantum dots”, [Science](#) **309**, 2180–2184 (2005).
- <sup>6</sup>M. Veldhorst, C. H. Yang, J. C. C. Hwang, W. Huang, J. P. Dehollain, J. T. Muhonen, S. Simmons, A. Laucht, F. E. Hudson, K. M. Itoh, A. Morello, and A. S. Dzurak, “A two-qubit logic gate in silicon”, [Nature](#) **526** (2015).
- <sup>7</sup>K. Saeedi, S. Simmons, J. Z. Salvail, P. Dluhy, H. Riemann, N. V. Abrosimov, P. Becker, H.-J. Pohl, J. J. L. Morton, and M. L. W. Thewalt, “Room-temperature quantum bit storage exceeding 39 minutes using ionized donors in silicon-28”, [Science](#) **342**, 830–833 (2013).
- <sup>8</sup>N. Bar-Gill, L. Pham, A. Jarmola, D. Budker, and R. Walsworth, “Solid-state electronic spin coherence time approaching one second”, [Nature Communications](#) **4** (2013).
- <sup>9</sup>P. M. Koenraad and M. E. Flatte, “Single dopants in semiconductors”, [Nature Materials](#) **10** (2011).

- <sup>10</sup>L. Besombes, Y. Léger, L. Maingault, D. Ferrand, H. Mariette, and J. Cibert, “Probing the spin state of a single magnetic ion in an individual quantum dot”, *Phys. Rev. Lett.* **93**, 207403 (2004).
- <sup>11</sup>C. Le Gall, A. Brunetti, H. Boukari, and L. Besombes, “Optical stark effect and dressed exciton states in a Mn-doped CdTe quantum dot”, *Phys. Rev. Lett.* **107**, 057401 (2011).
- <sup>12</sup>A. Kudelski, A. Lemaître, A. Miard, P. Voisin, T. C. M. Graham, R. J. Warburton, and O. Krebs, “Optically probing the fine structure of a single mn atom in an inas quantum dot”, *Phys. Rev. Lett.* **99**, 247209 (2007).
- <sup>13</sup>O. Krebs, E. Benjamin, and A. Lemaître, “Magnetic anisotropy of singly mn-doped InAs/GaAs quantum dots”, *Phys. Rev. B* **80**, 165315 (2009).
- <sup>14</sup>E. Baudin, E. Benjamin, A. Lemaître, and O. Krebs, “Optical pumping and a nondestructive readout of a single magnetic impurity spin in an InAs/GaAs quantum dot”, *Phys. Rev. Lett.* **107**, 197402 (2011).
- <sup>15</sup>J. Kobak, T. Smolenski, M. Goryca, M. Papaj, K. Gietka, A. Bogucki, M. Koperski, J.-G. Rousset, J. Suffczynski, E. Janik, M. Nawrocki, A. Golnik, P. Kossacki, and W. Pacuski, “Designing quantum dots for solotronics”, *Nature Communications* **5**, 3191 (2014).
- <sup>16</sup>L. Besombes, C. L. Cao, S. Jamet, H. Boukari, and J. Fernández-Rossier, “Optical control of the spin state of two Mn atoms in a quantum dot”, *Phys. Rev. B* **86**, 165306 (2012).
- <sup>17</sup>O. Krebs and A. Lemaître, “Optically induced coupling of two magnetic dopant spins by a photoexcited hole in a mn-doped InAs/GaAs quantum dot”, *Phys. Rev. Lett.* **111**, 187401 (2013).
- <sup>18</sup>L. Besombes, H. Boukari, C. L. Gall, B. Brunetti, C. Cao, S. Jamet, and B. Varghese, “Optical control of the spin of a magnetic atom in a semiconductor quantum dot”, *Nanophotonics* **4**, 75 (2015).
- <sup>19</sup>D. E. Reiter, V. M. Axt, and T. Kuhn, “Optical signals of spin switching using the optical stark effect in a mn-doped quantum dot”, *Phys. Rev. B* **87**, 115430 (2013).
- <sup>20</sup>M. Goryca, T. Kazimierzczuk, M. Nawrocki, A. Golnik, J. A. Gaj, P. Kossacki, P. Wojnar, and G. Karczewski, “Optical manipulation of a single Mn spin in a CdTe-based quantum dot”, *Phys. Rev. Lett.* **103**, 087401 (2009).
- <sup>21</sup>J. C. Oberg, M. Reyes Calvo, F. Delgado, M. Moro-Lagares, D. Serrate, D. Jacob, J. Fernandez-Rossier, and C. F. Hirjibehedin, “Control of single-spin magnetic anisotropy by exchange coupling”, *Nature Nanotechnology* **9** (2013).

- <sup>22</sup>J. Kobak, T. Smoleński, M. Goryca, M. Papaj, K. Gietka, A. Bogucki, M. Koperski, J.-G. Rousset, J. Suffczyński, E. Janik, M. Nawrocki, A. Golnik, P. Kossacki, and W. Pacuski, “Designing quantum dots for solotronics”, [Nat. Comm. 5, 3191 \(2014\)](#).
- <sup>23</sup>T. Smoleński, T. Kazimierczuk, J. Kobak, M. Goryca, A. Golnik, P. Kossacki, and W. Pacuski, “Magnetic ground state of an individual  $\text{Fe}^{2+}$  ion in strained semiconductor nanostructure”, [Nat. Comm. 7, 10484 \(2016\)](#).