



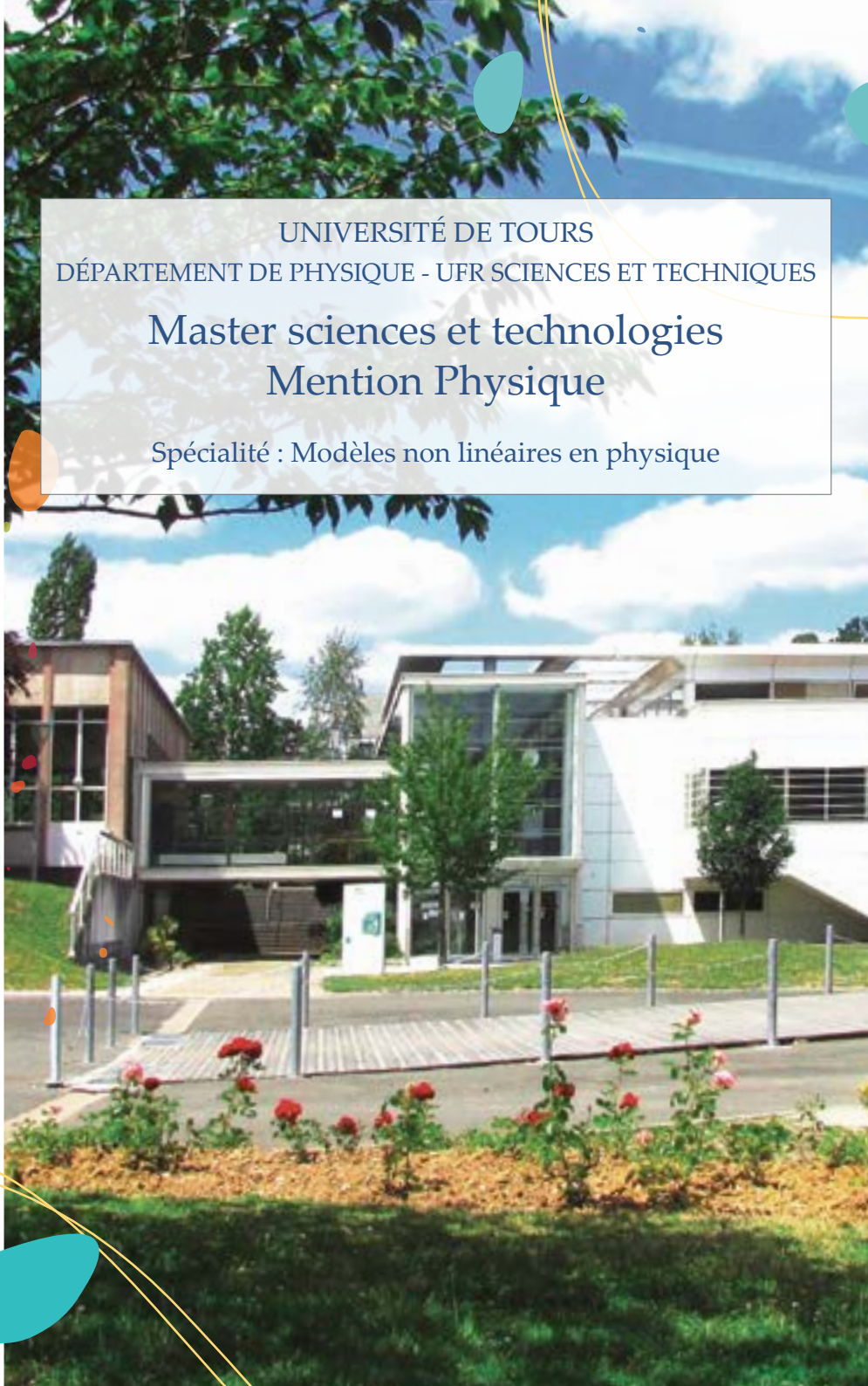
Université François-Rabelais Tours

UNIVERSITÉ  
FRANÇOIS-RABELAIS  
1864

UNIVERSITÉ DE TOURS  
DÉPARTEMENT DE PHYSIQUE - UFR SCIENCES ET TECHNIQUES

## Master sciences et technologies Mention Physique

Spécialité : Modèles non linéaires en physique



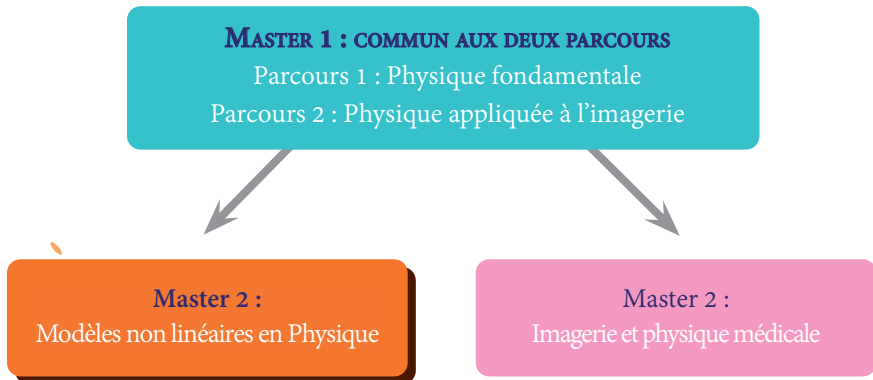
# MENTION PHYSIQUE - LA FORMATION

Cette seconde année propose une formation par la recherche aux méthodes et aux concepts fondamentaux de la physique qui permettent d'étudier le comportement de systèmes complexes issus de domaines très variés. Par le choix des options proposées et du stage, les sujets abordés couvrent autant la physique des hautes énergies que celle de la matière condensée (théorie des champs, physique des particules, relativité générale, systèmes chaotiques, cosmologie, par exemple).

Cette formation inclut un apprentissage des outils mathématiques adéquats, sans oublier la modélisation et les simulations numériques. Les thèmes de la physique non linéaire enseignés dans ce master couvrent un spectre largement pluridisciplinaire.

Cette formation s'adresse aux étudiants de M1 ou équivalent européen, aux élèves d'écoles d'ingénieurs, aux agrégés :

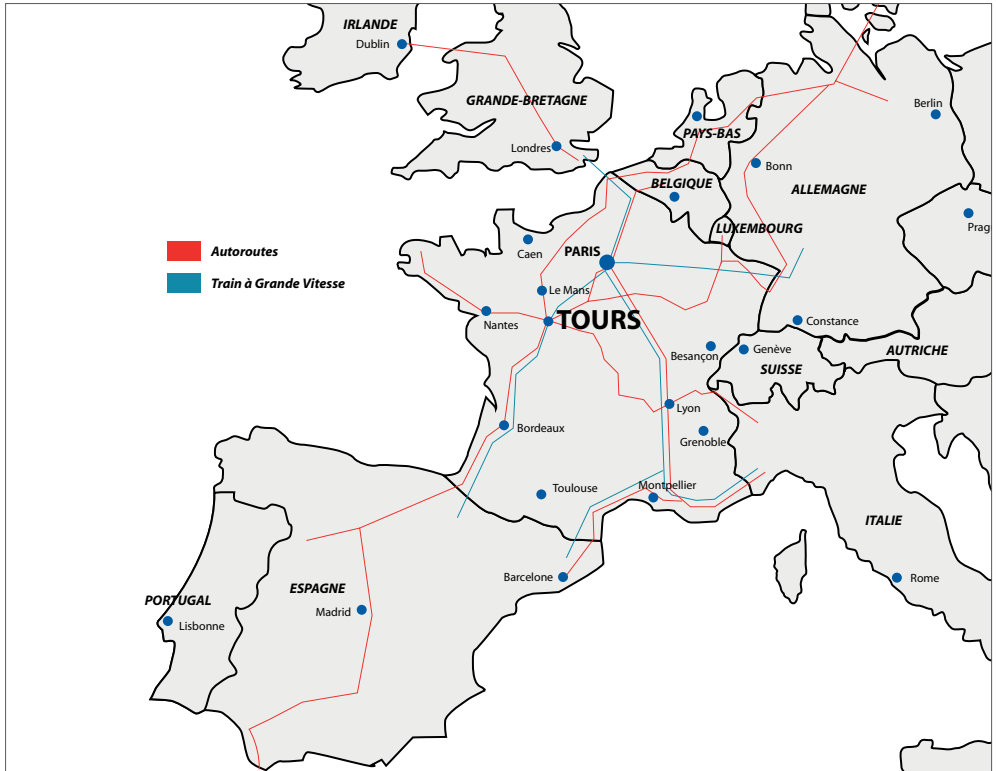
- désirant acquérir l'indispensable bagage prédoctoral avant de poursuivre une thèse dans l'un des domaines mentionnés ci-dessous ;
- souhaitant finir leur master ou une formation équivalente par une initiation à la physique développée depuis moins de 50 ans et à la recherche telle qu'elle se pratique en laboratoire (stage de trois mois à plein temps).



The second year of the Master's program is geared to impart the fundamental notions of theoretical physics not only through a wide choice of advanced elective courses but, even more importantly, through the opportunity to actively participate in research projects through the senior thesis.

The courses on offer cover high energy physics as well as condensed matter physics (field theory, particle physics, general relativity, chaotic systems and cosmology).

Située sur les rives de la Loire classées au patrimoine mondial de l'Unesco, à une heure de train de l'Atlantique et du centre de Paris, Tours offre, depuis la Renaissance, un cadre de vie particulièrement privilégié pour suivre des études du plus haut niveau (26 000 étudiants pour 150 000 habitants), et un lieu propice aux activités culturelles et sportives.



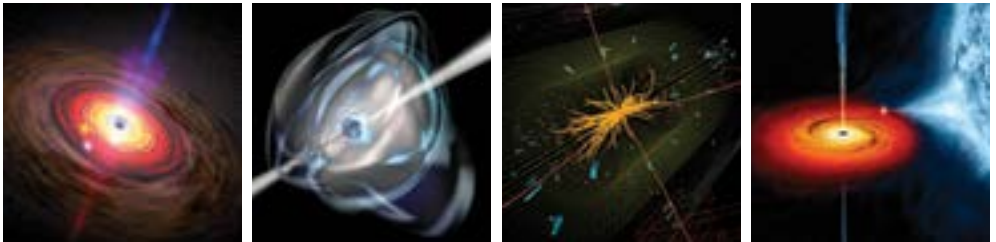
Located in the Loire Valley, classified as World Heritage by UNESCO, two hours away by train from the Atlantic and one hour away from the centre of Paris, Tours offers, since the Renaissance, a privileged environment for ones studies at the highest level (26 000 students for 150 000 inhabitants), an exquisite place for cultural and sports activities.

# LES ACTEURS

L'équipe pédagogique est issue d'une communauté d'enseignants-chercheurs et de chercheurs qui exercent leur activité de recherche au sein de laboratoires associés au CNRS et au CEA :

- Laboratoire de Mathématiques et Physique Théorique - CNRS UMR 7350 ;
- Groupement de REcherche Matériaux Microélectronique Acoustique Nanotechnologies - CNRS UMR 7347 CEA- ENIVL.

Cette spécialité s'appuie sur un partenariat avec des laboratoires d'accueil nationaux associés au CNRS et des laboratoires de l'espace européen.



# LE PARCOURS

Le premier semestre est constitué d'un tronc commun formé de deux cours et d'un choix de deux options parmi quatre. Le second semestre est constitué de deux options parmi quatre, mais également d'un stage à plein temps de trois mois dans un des nombreux laboratoires d'accueil de la formation.

- Le large choix d'options et de stages offre un véritable parcours à la carte selon les affinités et les motivations de chacun (voir la page internet de la formation).

**Les thématiques de recherche couvrent des aspects fondamentaux en :**

1. Physique théorique  
(théorie quantique des champs, relativité générale, systèmes intégrables, systèmes dynamiques) ;
2. Physique de la matière condensée  
(dynamique des vortex supraconducteurs, excitations élémentaires et propriétés électroniques, optiques et magnétiques dans les solides).

Une place importante est donnée à la modélisation et aux simulations numériques qui représentent aujourd'hui un outil incontournable dans l'analyse et la compréhension des systèmes complexes et sont également très recherchées dans le milieu professionnel industriel.



# LA FORMATION

# LES ENSEIGNEMENTS

Le premier semestre est constitué d'un tronc commun formé de deux cours et d'un choix de deux options parmi quatre. Le second semestre est constitué de deux options parmi quatre, et d'un stage à plein temps de trois mois dans l'un des nombreux laboratoires d'accueil de la formation.

## **Introduction à la théorie et aux applications des solitons :**

Ondes non linéaires - Équation de KdV - Évolution temporelle des données spectrales - Méthode de la diffusion inverse - Hiérarchie des lois de conservation.

## **Effets collectifs en physique quantique :**

Vides, particules, champs et effets collectifs en physique quantique - Introduction aux méthodes de la théorie quantique des champs - Applications en physique des particules et de la matière condensée - Particule nue et habillée - Propriétés du vide - Renormalisation - Transformations de Bogoliubov - Phonons - Diagrammes de Feynman - Fonctions de Green.

## **Solitons en théorie des champs :**

Modèle de Sine-Gordon - Charge topologique - Solutions du type kink - Limite de Bogomolny - Théorème de Derrick - Modèle sigma  $O(3)$  - Solitons topologiques du type vortex - Champs de Yang-Mills - Monopôle de 't Hooft-Polyakov - Sphaléron - Instanton.

## **Simulations numériques et modélisation moléculaire :**

Dynamique moléculaire et méthode de Monte Carlo - Algorithmes en C ou Fortran - Discrétisation des équations du mouvement - Metropolis, recuit, problèmes d'optimisation.

## **Systèmes dynamiques :**

Introduction aux systèmes dynamiques non linéaires en temps continu et discret - Bifurcations - Chaos dissipatif (attracteurs étranges, fractales) - Chaos hamiltonien (théorème Kolmogorov-Arnold-Moser).

## **Gravitation, astrophysique relativiste et cosmologie :**

Éléments de géométrie différentielle - Équations d'Einstein - Corps massif à symétrie sphérique - Tests fondamentaux et approximation newtonienne - Effondrement gravitationnel et trous noirs - Cosmologie : solution de Friedman-Robertson-Walker - Ondes gravitationnelles.

## **Introduction à la théorie quantique des champs :**

Quantification des champs libres - Champs scalaires - Propagateurs - Quantification du champ électromagnétique - Champs en interaction - Section efficace - États asymptotiques - Formules de réduction Lehmann-Symanzik-Zimmermann - Théorie des perturbations - Régularisation - Renormalisation - Processus élémentaires.

### **Astroparticules et cosmologie des hautes énergies :**

Particules cosmiques - Neutrinos en astrophysique - Astrophysique nucléaire - Matière noire - Objets astrophysiques compacts (étoiles à neutrons, étoiles de quarks, trous noirs) - Cosmologie primordiale - Énergie noire.

### **Systèmes d'électrons :**

Approximation de Hartree et Hartree Fock - Théorie de Landau - Modèle du jellium - Modèle de Tomonaga-Luttinger - Isolant de Mott - Crystal de Wigner - Modèle de Hubbard.

### **Systèmes désordonnés :**

Champ aléatoire - Potentiel aléatoire - Systèmes hors équilibre - Verres structuraux - Verres de Spin - Vieillessement - Localisation d'Anderson - Diffusion en milieu aléatoire.



## **LE STAGE**

Ce stage permet de prendre contact avec un laboratoire et une équipe de chercheurs.

Il peut être soit l'occasion unique pour un étudiant en fin d'études d'acquérir l'expérience de ce qu'est la recherche, soit le point de départ d'un possible travail de thèse.

Le stage est validé par la rédaction d'un mémoire et par une soutenance.

### **Exemples de sujets de stage proposés :**

- Contraintes sur les théories de la gravité à partir des comptages d'amas (Observatoire Midi Pyrénées) ;
- Interaction houle-courant : application à la physique des trous noirs (Laboratoire J-A Dieudonné, Nice) ;
- Condensation de Bose-Einstein et interférométrie atomique dans un résonateur optique de grande finesse (Laboratoire Charles Fabry, Palaiseau) ;
- Dynamique chaotique des vortex dans les supraconducteurs (GREMAN, Tours).

# LES DÉBOUCHÉS

Ce master prépare à une thèse de doctorat dans l'un des laboratoires d'accueil de la formation ou dans un autre laboratoire de recherche.

Les débouchés naturels sont des postes de chercheurs dans les grands organismes de recherche (CNRS, ONERA, CEA...), d'enseignants-chercheurs dans l'enseignement supérieur, d'ingénieurs de recherche et développement dans les laboratoires industriels.

À l'issue du Master, le diplômé « bac+5 » a également la possibilité de rejoindre directement le monde de l'entreprise dans les nombreux secteurs demandeurs de cadres ayant des compétences en modélisation mathématique et numérique sur ordinateur.

## Exemples de sujets de thèse proposés :

- Théorie des spins élevés (Laboratoire de Mathématiques et Physique Théorique, Tours) ;
- Simulations numériques de vortex supraconducteurs (Groupement de REcherche Matériaux Microélectronique Acoustique Nanotechnologies, Tours) ;
- Simulation des matériaux magnétiques par Dynamique Moléculaire Magnétique (CEA, Le Ripault, Monts) ;
- Étude des supernovæ de type Ia dans un contexte cosmologique avec l'expérience SNFactor (Laboratoire de Physique Nucléaire et des Hautes Énergies, Paris) ;
- Dynamique non linéaire spatiale et spatio-temporelle de la lumière dans des milieux structurés (Laboratoire de Photonique, Angers) ;
- Étude de systèmes en fortes interactions par manipulation d'atomes froids d'ytterbium dans des états de Rydberg (Laboratoire Aimé Cotton, Paris) ;
- Théorie de gravité massive (LMPT, Tours) ;
- Étude de la structure et du magnétisme de nanoalliages bi-métalliques 2D (Laboratoire Matériaux et Phénomènes Quantiques, Paris 7) ;
- Vortex électrofaibles supraconducteurs (LMPT, Tours).





# TÉMOIGNAGES

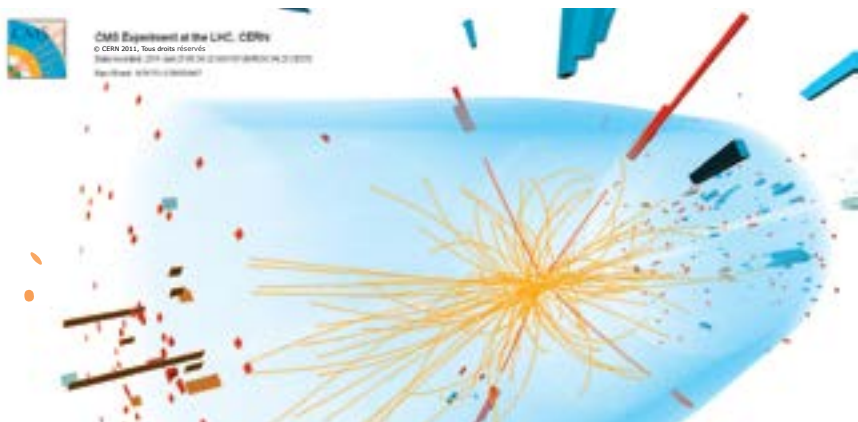
## QUELQUES PARCOURS ET TÉMOIGNAGES

*Je pense que la force de la formation réside justement dans la diversité des enseignements. Cela permet d'avoir une vision plus globale de la physique des phénomènes non linéaires et de créer des ponts entre différents domaines, au contraire de masters plus spécialisés. Un étudiant qui suivrait la formation a donc l'avantage de ne pas être déjà « enfermé » dans un domaine particulier et est éventuellement plus apte à choisir un sujet de thèse en connaissance de cause. On a souvent l'impression d'emprunter une voie qui va plus nous fermer des portes qu'en ouvrir. Sachez que ceci est totalement faux. La thèse est une formidable porte de sortie vers le milieu académique mais également vers le milieu industriel. Je pense en être la preuve vivante puisque après ce parcours à caractère fondamental j'ai pu intégrer le CEA pour une thèse et aujourd'hui me faire embaucher en CDI dans une PME à caractère industriel. Avant la fin de ma thèse, j'avais signé mon contrat de travail pour travailler dans le milieu de la modélisation des impacts et des explosifs.*

*Si je peux me permettre un dernier conseil, ne doutez jamais de votre formation. Elle est solide et ouvre de nombreuses portes. Il faut juste en être conscient et ne pas se dévaloriser par rapport aux écoles d'ingénieurs. Si sans thèse, il vous sera difficile de lutter, avec le diplôme de docteur en poche les recruteurs vous regarderont d'un autre œil.*

**David Beaujouan** (promotion 2008-2009)

Thèse financée par une bourse CFR-CEA sur « La simulation des matériaux magnétiques par Dynamique Moléculaire Magnétique » dirigée par Pascal Thibaudeau au CEA Le Ripault. CDI dans une PME à caractère industriel, la CEDREM, située en région Centre.



*Étant passionné par la physique dans son ensemble, je voulais pouvoir toucher à tous les domaines avant de me spécialiser dans un domaine bien précis au moment d'une thèse. J'ai donc choisi de suivre le parcours M2 modèles non linéaires en physique car s'agissant d'un master généraliste, il m'a permis de me faire une opinion tranchée sur la plupart des branches de la physique et ainsi de me rendre compte que j'étais au final principalement attiré par la physique atomique et ses nombreux débouchés, ainsi que par la physique quantique en général*

*plutôt que par l'astrophysique par exemple. Les attraits de ce master sont multiples :*

- *du fait qu'il soit généraliste, il permet d'aborder nombre de domaines de la physique. Et cette vue d'ensemble est à mon sens indispensable pour tout étudiant indécis comme je l'étais au moment du choix de mon stage de M2 qui est déterminant pour la poursuite des études ;*
- *étant un master orienté physique théorique, il permet d'acquérir de très bonnes bases mathématiques qui sont indispensables à mon sens pour espérer embrasser une carrière dans la recherche, la physique reposant entièrement sur le formalisme mathématique. Il permet également d'avoir de bonnes connaissances en simulations numériques, outils indispensables de nos jours, aussi bien en physique théorique qu'en physique expérimentale.*

**Alexandre Zuliani** (promotion 2011-2012)

Thèse financée par une bourse ministérielle sur les « Études de systèmes en fortes interactions par manipulation d'atomes froids d'ytterbium dans des états de Rydberg » dirigée par Pierre Pillet au Laboratoire Aimé Cotton.

---

*Le M2 m'a permis de faire ma thèse dans de bonnes conditions car j'y ai acquis des connaissances et des méthodes de travail très utiles par la suite. Ce fut également une expérience humaine intéressante et gratifiante. Je trouve mon parcours intéressant car, a priori, je n'étais pas destiné à faire ce que je fais comme travail et pourtant je me rends compte tous les jours que j'y ai été formé (et de manière remarquable) d'une certaine manière.*

**Juste Jean-Paul Ngome Abiaga** (promotion 2006-2007)

Thèse financée par une bourse régionale sur les « (Super) symétries des modèles semi-classiques en physique théorique et de la matière condensée » dirigée par Peter Horvathy au Laboratoire de Mathématiques et de Physique Théorique.

En poste à l'UNESCO, responsable des programmes de mathématiques et de physique.

---

*Ma formation m'a été utile sur plusieurs aspects. Ma thèse traitant, notamment, de la génération et du comportement de solitons (optiques) spatiaux, les cours sur les solitons (même si hydrodynamique, topologique...) m'ont permis d'avoir une connaissance de la zoologie d'équations, de phénomènes liés à ces curieuses bêtes. Les méthodes de résolutions analytiques des équations non linéaires me servent aujourd'hui et je n'ai pas eu à tout apprendre sur le tas. Les autres cours m'ont offert une vision large de la physique et je peux appréhender une grande variété de situations (gravitations, systèmes dynamiques...).*

**Valentin Besse** (promotion 2010-2011)

Thèse financée par une bourse ministérielle sur la « Dynamique non linéaire spatiale et spatio-temporelle de la lumière dans des milieux structurés » dirigée par Georges Boudebs et Hervé Leblond au Laboratoire de Photonique d'Angers.

**SECRÉTARIAT :**

Nathalie Doris

Tél. (33) 2 47 36 69 46

Fax (33) 2 47 36 69 56

**COURRIER :**

UFR Sciences et Techniques

Secrétariat du Département de Physique

Bâtiment E2, bureau 1130

Parc de Grandmont

37200 Tours

**RESPONSABLE :**

m2-physique@phys.univ-tours.fr



**Retrouvez un complément d'informations sur :**

<http://www.dept.phys.univ-tours.fr/master-modele-non-lineaire.html>