

# Projet Tutoré en laboratoire

## Détails des propositions Année 2011-2012

### Laboratoire de Physique de la Matière Condensée

#### 1. Billard microondes

We want to investigate the behaviour of resonances in a regular and chaotic cavity. Experimentally we use a closed cavity of quarter circular shape (regular), where one straight wall can be moved thus creating a stadium billiard (chaotic). First the Weyl law is investigated, i.e. the number of states as a function of frequency or wavefunction.

Then the nearest neighbour distribution i.e. the probability to find the next eigenvalue in a distance  $\Delta E$ , for the different type of billiards. This are compared to numerical calculation using random matrix theory (RMT) and analytic formulas derived from RMT.

If time allows a level dynamic measurements are performed and the distribution of velocities are investigated.

Encadrant : Ulrich Kuhl [ulrich.kuhl@unice.fr](mailto:ulrich.kuhl@unice.fr)

#### 2. Etude expérimentale des gouttes de Leidenfrost

Vous avez déjà du observer le comportement d'une goutte d'eau déposée sur une plaque chaude portée à une température largement supérieure à la température d'ébullition de la goutte. Elle roule, lévite sur la plaque et s'évapore lentement . Cet effet bien connu de caléfaction, ou phénomène de Leidenfrost, donne actuellement lieu à de nombreuses recherches. Vous pouvez consulter l'article récemment paru dans le Monde pour une première introduction sur le sujet :

[http://www.lemonde.fr/planete/article/2011/11/29/comment-la-goutte-d-eau-levite-sur-le-fil-de-la-scie\\_1608993\\_3244.html](http://www.lemonde.fr/planete/article/2011/11/29/comment-la-goutte-d-eau-levite-sur-le-fil-de-la-scie_1608993_3244.html)

Lors de ce stage, nous vous proposons de mettre au point un dispositif expérimental qui vous permettra d'étudier quantitativement les propriétés de ces gouttes si singulières.

Encadrant : Franck Célestini [franck.celestini@unice.fr](mailto:franck.celestini@unice.fr)

#### 3. Etude numérique du laser aléatoire en régime impulsif

Le stage concerne l'étude numérique du laser aléatoire en régime impulsif. Un laser aléatoire est un milieu à gain laser d'une part, et diffusant d'autre part (une poudre semi-conductrice, des particules dans un solvant, des polymères dopés). Ce type de laser se distingue en particulier d'un laser traditionnel par l'absence de cavité. Dans ce milieu diffusant et ouvert, le champ laser possède des propriétés distinctes de celles d'un champ laser traditionnel, au niveau spatial comme au niveau temporel. À partir d'un programme établi les années précédentes et auquel il faudra apporter quelques modifications mineures, on étudiera l'évolution des propriétés du

champ laser en fonction de l'intensité et de la durée d'une impulsion excitatrice. Le stage sera l'occasion de se familiariser à des domaines variés comme les ondes en milieu diffusant, l'effet laser, et certaines techniques numériques de propagation d'ondes.

Encadrant : Christian Vanneste [christian.vanneste@unice.fr](mailto:christian.vanneste@unice.fr)

#### **4. Cellules photovoltaïques à colorant (Dye Sensitized Solar Cells)**

##### **Contexte du projet.**

Il est certainement inutile de rappeler l'importance donnée aujourd'hui au développement des sources d'énergie renouvelable. Parmi elles, l'énergie photovoltaïque suscite un vif regain d'intérêt. La principale limitation à une plus large utilisation des panneaux solaires est le coût du silicium, principal composant des cellules actuelles. Les recherches s'orientent entre autres, vers l'utilisation de nouveaux matériaux moins onéreux et des concepts originaux basée sur le biomimétisme.

Parmi ceux-ci, le dioxyde de titane ( $\text{TiO}_2$ ) associé à un composé photosensibilisateur et à un électrolyte peut conduire à la création de cellules photovoltaïques relativement peu onéreuses appelées Dye Sensitized Solar Cells (DSSC).

Il s'agit d'un système photoélectrochimique inspiré de la photosynthèse végétale constitué d'un électrolyte donneur d'électron (analogue à l'eau dans la photosynthèse) sous l'effet d'un pigment excité par le rayonnement solaire (analogue à la chlorophylle). La force électromotrice de ce système vient de la rapidité avec laquelle l'électrolyte compense l'électron perdu par le pigment excité avant que ce dernier ne se recombine. Le pigment photosensible est imprégné dans un matériau semiconducteur fixé à la paroi transparente et conductrice située face au soleil, de sorte que l'électron libéré par le pigment diffuse jusqu'à la paroi conductrice à travers le matériau semiconducteur pour venir s'accumuler dans la paroi supérieure de la cellule et générer une différence de potentiel avec la paroi inférieure.

##### **Objectifs du projet.**

###### Partie expérimentale :

Le premier objectif consistera en l'évaluation de la performance photovoltaïque d'une cellule solaire à colorant en utilisant comme semiconducteur, un oxyde de titane microporeux déposés par un processus sol/gel, sur un substrat transparent et conducteur (verre traité ITO). Un colorant photosensible de type polypyridine au ruthénium est ensuite appliqué sur cette couche d'oxyde. Les électrons des molécules de colorant sont excités par la lumière du soleil et diffusent, à travers l'oxyde semi-conducteur, jusqu'à la zone de contact conductrice (anode). Ils se déplacent ensuite jusqu'à la contre-électrode par l'intermédiaire d'un circuit électronique, avant d'être réacheminés vers la couche de colorant à travers un électrolyte (iodure/triiodure :  $\text{I}^-/\text{I}_3^-$ ). C'est ainsi que se produit le courant photovoltaïque.

###### Partie bibliographique :

Le second objectif concernera les points d'amélioration d'un tel système : optimisation du film semiconducteur composé de  $\text{TiO}_2$  poreux, utilisation de supports flexibles, autres molécules photoactives plus performantes, remplacement de l'électrolyte iodure/triiodure par un électrolyte solide de type polymère conducteur ou d'un gel polymérique.

Encadrant : Jacques Persello [jacques.persello@unice.fr](mailto:jacques.persello@unice.fr)

## 5. Coupleur directionnel

Lorsque deux guides d'ondes optiques sont suffisamment proches l'un de l'autre, les modes optiques respectifs de ces deux guides ne sont plus indépendants mais sont couplés; ils peuvent alors échanger de la lumière. Un tel dispositif porte de nom de coupleur directionnel et il est couramment utilisé dans circuits optiques pour réaliser des fonctions de commutation. Dans l'équipe MOSAIQ du LPMC, ces composants sont fabriqués, caractérisés et utilisés pour des applications d'optique quantique. Dans le cadre de ce stage, il est proposé d'étudier le mécanisme de fonctionnement du coupleur directionnel. On pourra montrer dans un premier temps que le transfert de lumière d'un guide vers l'autre peut être total si les deux guides sont identiques et partiel s'ils sont différents. Dans un second temps, on montrera qu'il est néanmoins possible d'avoir un transfert total même si les deux guides sont différents à condition de compenser cette différence par l'introduction d'une perturbation périodique d'indice (réseau) sur la structure. L'étude de ce type de composant passe généralement par la résolution numérique d'un système d'équations différentielles couplées.

- Compétences requises : savoir programmer dans un langage quelconque

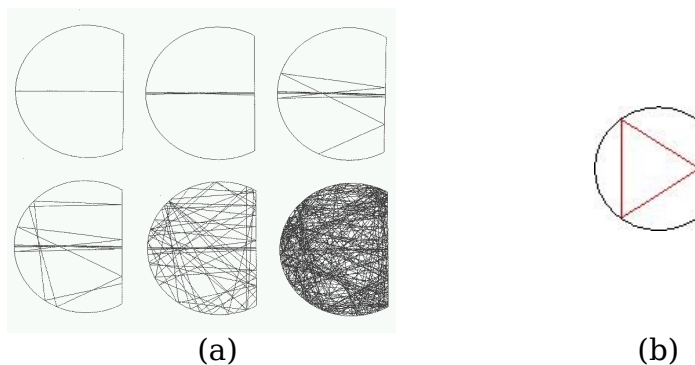
Encadrant : Pierre Aschieri [pierre.aschieri@unice.fr](mailto:pierre.aschieri@unice.fr)

## 6. Chaos cicatrisé dans une fibre optique

Le billard, jeu très apprécié des étudiants..., constitue aussi un outil privilégié pour le physicien<sup>1</sup> qui veut étudier l'influence de la géométrie d'un milieu sur la dynamique d'un système.

En dehors des géométries simples telle que le carré ou le cercle, la dynamique d'un rayon géométrique qui se réfléchit sur les contours d'un billard est complexe voire chaotique (dans ce cas la trajectoire du rayon dépend de façon très sensible de l'angle et de la position initiaux du rayon).

Dans le cas d'une dynamique chaotique des rayons, les trajectoires qui se re-parcourent au bout d'un nombre fini de rebonds, les orbites périodiques, sont instables si bien qu'un rayon initialement envoyé le long d'une orbite périodique va finir par explorer toute la surface du billard.



*Exemple de l'évolution d'un rayon lancé le long d'une orbite périodique horizontale (a) et orbite triangulaire dans un billard chaotique en forme de cercle tronqué(b).*

Nous nous intéressons, en particulier, dans le cadre de ce stage, à l'orbite périodique à trois rebonds formant un triangle dans le billard en forme de cercle tronqué (voir figure (b) ci-dessus).

En dehors de l'étude des caractéristiques de l'évolution de rayons géométriques dans un billard, on cherchera à étudier le comportement des ondes qui se propagent dans un milieu fermé à deux dimensions en forme de

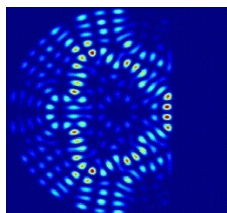
---

<sup>1</sup> Pour le physicien, le billard est un système fermé à deux dimensions dans lequel on suit l'évolution de rayons géométriques.

cercle tronqué (billard ondulatoire). Des études théoriques ont montré que les modes de propagation conservaient des signatures de la dynamique géométrique. En particulier et de façon surprenante, il existe des modes de propagation qui gardent une cicatrice (*scar* en anglais) des orbites périodiques.

Dans un premier temps, vous vous intéresserez aux caractéristiques de l'orbite périodique triangle dans le billard en forme de cercle tronqué (longueur, points auto-focaux, coefficient de Lyapunov).

Ensuite, vous étudierez la propagation de la lumière dans une fibre optique dont la section transversale à la forme d'un cercle tronqué et chercherez à observer numériquement et expérimentalement un mode présentant une cicatrice triangulaire (*scar triangle*).



*Cicatrice en forme de triangle dans un billard ondulatoire en forme de cercle tronqué*

Encadrants : Claire Michel ([claire.michel@unice.fr](mailto:claire.michel@unice.fr))  
Valérie Doya ([valerie.doya@unice.fr](mailto:valerie.doya@unice.fr))

## 7. Etude des ondes capillaires sur un jet liquide.

On étudiera les ondes capillaires stationnaires que l'on peut observer sur un jet liquide, par exemple issus d'un robinet. Lorsque place son doigt face au jet tombant du robinet, on observe des ondulations du diamètre du jet que l'on étudiera. On déterminera notamment la variation de la longueur d'onde en fonction de la vitesse du jet. On observera éventuellement d'autres types d'ondes lorsque le jet impacte une surface solide de façon non perpendiculaire.

Encadrant : Xavier Noblin [xavier.noblin@unice.fr](mailto:xavier.noblin@unice.fr)

## Institut Non Linéaire de Nice Sophia Antipolis

*lieu* : Sophia Antipolis

## 8. Equation de Swift-Hohenberg vectorielle sous critique

Un lien vers le résumé est disponible sur la page du site présentant les titres.

Encadrant : Lionel Gil

## Laboratoire Jean-Alexandre Dieudonné

*lieu* : Parc Valrose

## 9. Modélisation et implémentation robotique de l'accroissement de la complexité des systèmes nerveux au cours de l'évolution

### Contexte:

Notre équipe "Systèmes dynamiques et interactions en Physique, Biologie et Chimie" intègre, au sein du laboratoire J.A Dieudonné, des chercheurs issus de différentes disciplines: Mathématiques des Systèmes Dynamiques, Physique Théorique et Statistique, Biologie moléculaire et Neurosciences notamment. L'objectif est de faire converger les intérêts et les

compétences afin que des questions fondamentalement interdisciplinaires puissent être traitées de front et de façon cohérente par l'intégration de ces approches.

### **Résumé du projet:**

Comment la coordination de l'activité neuronale bioélectrique se met-elle en place au cours de l'évolution et comment permet-elle l'accroissement de complexité des fonctions et comportements des organismes biologiques concernés ?

Pour répondre à cette question, nous voulons modéliser et simuler les structures, fonctions et comportements d'organismes biologiques ; les caractériser sur les plans logiques et mathématiques ; et enfin les implémenter sur des robots, afin de vérifier la capacité de ces entités à "survivre" et donc, d'une certaine manière, leur plausibilité biologique.

Pour ce faire, nous utilisons la plateforme *Mindstorm* ©, développée par le MIT aux Etats-Unis et commercialisée par la firme Lego. Ce matériel de robotique permet de programmer de petites unités centrales couplées à des moteurs et des capteurs sensoriels, ainsi qu'aux pièces de construction Lego (technic). Cela évite ainsi de s'engager dans des travaux de mécanique ou d'électronique quand ce n'est pas à ce niveau que se situe l'enjeu scientifique. Cette plateforme est devenue particulièrement populaire, à tel point que la plupart des laboratoires de Robotique en relation avec la Biologie l'ont adoptée.

Encadrants : Franck Grammont [franck.grammont@unice.fr](mailto:franck.grammont@unice.fr)

Alexandre Muzy (en détachement depuis l'Université de Corte)

## **10. Matière Active (2 sujets)**

Systèmes complexes constitués de «matière active» se rencontrent à toutes échelles dans la nature. Citons par exemple, à l'échelle micro-cellulaire, le «cytoskeleton», où des micro-tubules propulsés par les moteurs moléculaires qui présentent une captivante dynamique collective, à l'échelle cellulaire, la formation de tissus, un aspect clé pour la biologie du développement et du cancer, à l'échelle des organismes, les nuages d'insectes, les troupes d'animaux, ou même les foules humaines. Il est aussi intéressant de souligner qu'on peut aussi trouver des systèmes de matière active les systèmes non vivants, par exemple, la matière granulaire agitée. Une caractéristique commune à tous ces systèmes est la consommation constante d'énergie et une source constante de dissipation où la prise et dissipation d'énergie se fait au niveau des agents ou unités (penser aux cellules qui stockent et consomment l'ATP). Cela signifie que ces systèmes sont intrinsèquement (du point de vue thermodynamique) hors d'équilibre. L'absence de conservation de moment et l'impossibilité d'utiliser (à échelles de temps courte et moyenne) les théorèmes de fluctuation-dissipation nous laissent sans théorie physique pour comprendre la dynamique complexe de la matière active. De plus, la description de ces systèmes avec des équations des milieux continus, pour avoir une description de «coarse-grain», est un grand défi au niveau théorique du fait de la présence d'une dynamique multi-échelle chez la matière active où l'on observe des fluctuations anormales au niveau microscopique et macroscopique.

Problèmes proposés:

\* Modélisation du mouvement collectif chez les myxobactéries. Comment font les bactéries pour se déplacer ensemble?

\* Modélisation de tissu. Comment peut-on modéliser la évolution de la surface d'un tumeur?

\* Modélisation du mouvement d'un troupeau de moutons. Il s'agit d'un marche

aléatoire?

- Modélisation d'un nid de fourmis et "decision-making" chez le fourmis.

Encadrant : Fernando Peruani [fernando.peruani@unice.fr](mailto:fernando.peruani@unice.fr)

## 11. Nouveau pendule chaotique

L'objectif de ce projet est d'étudier un nouveau pendule chaotique. Pendant leur stage, les étudiants motivés apprendront les concepts reliés à la théorie du chaos. Le travail sera numérique, qui se basera sur un logiciel de calcul symbolique. La bonne compréhension de la dynamique complexe de ce système pourra donner lieu à une publication de recherche dans une revue anglosaxonne.

Encadrant : Médéric Argentina [mederic.argentina@unice.fr](mailto:mederic.argentina@unice.fr)

## 12. Etude de l'évolution d'un système auto-gravitant en deux dimensions

Télécharger le résumé sur la page présentant les sujets.

Encadrant : Bruno Marcos [bruno.marcos@unice.fr](mailto:bruno.marcos@unice.fr)

## 13. Analyse multi-longueur d'onde des amas de galaxies

Les amas de galaxies sont les structures gravitationnellement liées les plus massives de l'Univers. Ils se sont assemblés au cours du temps par accréation continue de galaxies ou parfois par coalescence avec d'autres amas. Ces processus, toujours en cours aujourd'hui, sont décelables grâce à l'étude des diverses composantes des amas de galaxies: les galaxies bien sur, mais également une grande fraction de gaz chaud inter-galactique et environ 80% de matière sombre. Ces composantes, conjuguées aux diverses étapes de l'évolution des amas, laissent des signatures observables à différentes longueurs d'onde (optique, X, radio, ...). Par le croisement de ces observations sur de grands échantillons d'amas nous pouvons espérer comprendre la formation et l'évolution de ces systèmes. C'est dans ce cadre que nous proposons d'utiliser des relevés du ciel effectués dans les bandes optiques, X et radio pour étudier les processus physiques à l'œuvre dans quelques amas présentant une variété d'états dynamiques.

Encadrants : Christophe Benoist [benoist@oca.eu](mailto:benoist@oca.eu)

Chiara Ferrari [ferrari@oca.eu](mailto:ferrari@oca.eu)

## 14. Classification de galaxies

Le projet consiste à une classification d'un échantillon de galaxies à partir d'images et de mesure du redshift (décalage du spectre de longueur d'onde vers le rouge).

Nous avons un échantillon de plus ou moins 70 galaxies de type "Lyman break", à redshift  $1.5 < z < 2.5$  (temps dans le passé de 9.3-10.9 giga-ans). Nous avons des images de haute résolution du Hubble (HST) et nous voudrions les analyser pour les classifier comme spirale, elliptique, interactive etc. Nous utiliserons software comme:

1) IRAF ([iraf.noao.edu](http://iraf.noao.edu)) - gratuit

2) SAOimage DS9 (<http://hea-www.harvard.edu/RD/ds9/>) - gratuit

3) IDL (<http://www.exelisvis.com/ProductsServices/IDL.aspx>) - version d'étudiant.

Nous pouvons mesurer plusieurs parametres pour quantifier les classements.

Le référence pour l'échantillon est  
Haberzettl, Williger, Lehnert, Nesvadba, Davies 2011,  
<http://arxiv.org/abs/1112.2786>

Il est fortement préféré que les étudiants peuvent utiliser (ou apprendre rapidement) Linux ou Unix. Beaucoup de software astronomique ne marche pas bien ou pas du tout avec Windows.

Encadrant : Gerry Williger [gerard.williger@unice.fr](mailto:gerard.williger@unice.fr)