



## Programme et publications PEDAGOGIQUE

**Date: Mercredi, 04.07.2018**

**17:30 - 19:00 PO-01 A: Session posters et stands Pédagogiques #1**

Salle Emma Chenu

**Date: Jeudi, 05.07.2018**

**14:00 - 16:15 SP: Session pédagogique**

Président(e) de session: **Saida GUELLATI- KHELIFA**  
Président(e) de session: **Renaud Mathevet**  
Présentations et table ronde

Amphi Fermat

**16:45 - 18:45 PO-02 A : Session posters et stands Pédagogiques #2**

Salle Emma Chenu

### Présentations

#### PO-01 A: Session posters et stands Pédagogiques #1

Heure: Mercredi, 04.07.2018: 17:30 - 19:00 · Salle: Salle Emma Chenu

##### RETOUR D'EXPERIENCE SUR LE MOOC : « LA PHYSIQUE, VIVE[Z] L'EXPERIENCE ! »

**S. Forget, S. Chénais, C. Daussy**

LPL-CNRS-UMR7538-IG-UP13, France; [christophe.daussy@univ-paris13.fr](mailto:christophe.daussy@univ-paris13.fr)

*Retour d'expérience sur un MOOC conçu par 3 enseignants-chercheurs pour faire (re)découvrir les richesses de la Physique au plus grand nombre. Ce MOOC intitulé, « La Physique, vive[z] l'expérience ! », s'appuie sur des pédagogies numériques innovantes pour aborder quelques grands thèmes traités au lycée et en premier cycle universitaire.*

##### REGRESSION PARADOXALE D'UNE COMPETENCE DE L'ECOLE PRIMAIRE A L'UNIVERSITE : REPRESENTER LA PROPAGATION RECTILIGNE DE LA LUMIERE

**E. Blanquet<sup>1,2</sup>, T. Badiur<sup>3</sup>, V. Blé<sup>2</sup>, C. Darraud<sup>4</sup>, M. Delaunay<sup>2</sup>, M. Dubourg<sup>2</sup>, A. Leloutre<sup>2</sup>, M. Miron<sup>3</sup>, N. Pavel<sup>3</sup>, E. Picholle<sup>5</sup>, A. Turuta<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>LACES EA 7437, Université de Bordeaux, France; <sup>2</sup>ESPE d'Aquitaine, Université de Bordeaux, France; <sup>3</sup>Université de de Iasi Alexandru Ioan Cusa, Iasi, Roumanie; <sup>4</sup>XLIM, UMR 7252, CNRS-Université de Limoges, Limoges, France; <sup>5</sup>INPHYNI, UMR 7010, CNRS- Université Nice Sophia Antipolis, Nice, France; [estelle.blanquet@u-bordeaux.fr](mailto:estelle.blanquet@u-bordeaux.fr)

Une étude sur la représentation de la lumière se propageant dans une boîte fermée munie d'une cloison interne a été menée auprès de 846 élèves du primaire et 392 étudiants français et roumains. Alors que 81% des élèves de CP répondent correctement à la question posée, moins de 30% des adultes interrogés y parviennent.

*Stand pédagogique*

##### ELABORATION D'UNE CHARGE UTILE DE NANOSATELLITE DEDIEE A L'OPTIQUE TELECOM

**A. Fernandez, C. Viallon, N. Nohier, O. Llopis**

LAAS, Université Paul Sabatier Toulouse III, France; [afernand@laas.fr](mailto:afernand@laas.fr)

L'objectif de cette communication est de présenter l'action pédagogique en optoélectronique développée dans le Master ESET de l'Université Paul Sabatier dans la réalisation de la charge utile optoélectronique du nanosatellite NIMPH dont le but est de mesurer la dégradation de fibres dopées erbium aux radiations cosmiques.

*Stand pédagogique*

### **EXPERIENCES DIDACTIQUES AUTOUR DU PHENOMENE DE REFLEXION TOTALE: LA FONTAINE LASER ET LA TRANSMISSION DU SON PAR LASER**

**J.-P. Loisel**<sup>1,2,3</sup>, **M. Büchner**<sup>1,2,4</sup>

<sup>1</sup>LCAR, France; <sup>2</sup>IRSAMC; <sup>3</sup>Université Toulouse III; <sup>4</sup>CNRS; [loisel@irsamc.ups-tlse.fr](mailto:loisel@irsamc.ups-tlse.fr)

La fibre optique a révolutionné notre monde. Cette technologie est basée sur l'optique géométrique (réflexion totale). Une fontaine laser montre le guidage d'un faisceau laser dans un jet de liquide et la transmission du son par modulation d'une diode laser est illustrée. L'objectif est de sensibiliser un large public et d'éveiller la curiosité.

*Stand pédagogique*

### **Optique et Phénomène de Moiré : le Moiré comme Interféromètre Graphique**

**J.-C. Pissondes**

ESIEA, France; [jcpissondes@aim.com](mailto:jcpissondes@aim.com)

Dans ce poster, on montre que le mécanisme du moiré constitue pour étudiants et enseignants un moyen simple mais très explicite pour illustrer les phénomènes et applications de l'Optique ondulatoire. En particulier, on expose la méthode du "moiré d'ombre" pour l'analyse d'une surface en la comparant à l'analyse interférométrique d'un relief.

*Stand pédagogique*

### **Un ensemble polyvalent d'expériences d'optique quantique de démonstration**

**R. Mathevet**<sup>1,2,3</sup>, **B. Chalopin**<sup>1,2,4</sup>, **S. Massenet**<sup>1,5</sup>

<sup>1</sup>Université de Toulouse, France; <sup>2</sup>CNRS; <sup>3</sup>LNCMI; <sup>4</sup>LCAR; <sup>5</sup>ISAE; [renaud.mathevet@lncmi.cnrs.fr](mailto:renaud.mathevet@lncmi.cnrs.fr)

Nous présentons deux expériences d'optique quantique destinées aux étudiants de Master d'écoles d'ingénieur ou universitaires. La première est une expérience de violation des inégalités de Bell. La seconde, vise à mettre en évidence des battements de photons uniques. Ces deux expériences sont conçues pour être facilement transportables.

*Stand pédagogique*

### **Un ensemble polyvalent d'expériences optiques de démonstration**

**R. Mathevet**

LNCMI, France; [renaud.mathevet@lncmi.cnrs.fr](mailto:renaud.mathevet@lncmi.cnrs.fr)

Nous présentons une quinzaine d'expériences de démonstration en optique facilement reproductibles et transportables. Elles permettent d'animer plusieurs types d'interventions à différents niveaux du grand public jusqu'au séminaire de laboratoire et seront présentées par des étudiants formés pour l'occasion.

*Stand pédagogique*

### **Un kit pédagogique modulaire pour l'enseignement des lasers à fibre**

**J. Lhermite**<sup>1</sup>, **R. Bello-Doua**<sup>2,3</sup>, **B. Fabre**<sup>1,2</sup>, **E. Cormier**<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>CELIA, Université de Bordeaux - CNRS - CEA, 33405 Talence, France; <sup>2</sup>PYLA, Bâtiment Institut d'Optique d'Aquitaine, 33400 Talence, France; <sup>3</sup>ALPhANOV, Institut d'optique d'Aquitaine, 33400 TALENCE, France; [baptiste.fabre@u-bordeaux.fr](mailto:baptiste.fabre@u-bordeaux.fr)

Nous présentons un kit pédagogique innovant à base de composants modulaires pour l'enseignement pratique autour de la conception d'un laser à fibre.

## **SP: Session pédagogique**

*Heure:* Jeudi, 05.07.2018: 14:00 - 16:15 · *Salle:* Amphi Fermat

*Président(e) de session:* Saïda GUELLATI- KHELIFA

*Président(e) de session:* Renaud Mathevet

Présentations et table ronde

Outils pédagogiques, évolution de l'enseignement de l'optique dans l'ère du numérique, échanges sur les approches pédagogiques...

*Invitée*

### **Articulation Secondaire-Supérieur : le point de vue du groupe interassociations de physique-chimie**

#### **R. Barbet-Massin**

Ministère de l'Éducation Nationale, France; [barbet-massin.remi@neuf.fr](mailto:barbet-massin.remi@neuf.fr)

Le groupe de physique-chimie interassociations réfléchit aux évolutions nécessaires de l'enseignement de ces disciplines au lycée. Ses interactions avec les différentes institutions ont permis une sensibilisation aux problèmes rencontrés actuellement ; certains membres ont intégré les groupes d'experts chargés d'élaborer les nouveaux programmes.

*Invitée*

### **Enseignement interactif dans les amphithéâtres de sciences du L1**

#### **B. Lamine**

Université Paul Sabatier, France; [brahim.lamine@irap.omp.eu](mailto:brahim.lamine@irap.omp.eu)

Depuis 2014, l'université Paul Sabatier s'est saisit d'opportunités technologiques nouvelles pour faire évoluer les cours magistraux en amphithéâtres en allant vers des formes plus interactives d'apprentissage. Ces nouvelles pratiques pédagogiques permettent d'améliorer la réussite des étudiants et l'appréciation de ces derniers sur leur cours.

*Invitée*

### **L'enseignement scientifique dans la réforme du baccalauréat**

#### **D. Obert**

Ministère de l'éducation nationale, France; [dominique.obert@education.gouv.fr](mailto:dominique.obert@education.gouv.fr)

Un nouveau baccalauréat est prévu pour la session 2021, il sera resserré autour de quatre épreuves terminales et introduira une part de contrôle continu. Il s'accompagne d'une réorganisation profonde du lycée. Nous ferons le point sur les parcours scientifiques en mettant en avant les nouveaux enjeux d'orientation vers l'enseignement supérieur.

# ELABORATION D'UNE CHARGE UTILE DE NANOSATELLITE DEDIEE A L'OPTIQUE TELECOM

Arnaud Fernandez<sup>1</sup>, Christophe Viallon<sup>1</sup>, Nicolas Nolhier<sup>1</sup>, Olivier Llopis<sup>1</sup>

<sup>1</sup> LAAS-CNRS, Université de Toulouse, CNRS, UPS, Toulouse, France

[afernand@laas.fr](mailto:afernand@laas.fr)

## RÉSUMÉ

L'objectif de cette communication est de présenter l'action pédagogique en optoélectronique développée dans le Master ESET (Electronique des Systèmes Embarqués et Télécommunications) de l'Université Paul Sabatier (UPS). En effet, depuis 2013 les étudiants de cette formation s'investissent au travers de stages et projets dans la réalisation de la charge utile du nanosatellite NIMPH (Nanosatellite to Investigate Microwave Photonics Hardware). La mission de cette charge utile est de quantifier la dégradation aux radiations de différentes fibres dopées erbium [1] lors d'une mission de 2 ans en orbite basse.

**MOTS-CLEFS :** *télécommunication optique, erbium, spatial, fiabilité, radiation*

## 1. INTRODUCTION : LE PROJET NANOSATELLITE NIMPH

La prochaine génération de satellites de télécommunication opérant en bande Ku et Ka considère la technologie de radio sur fibre (RoF) comme un bon candidat pour les charges utiles futures. Durant ces 15 dernières années le CNES a entrepris l'évaluation de composants optiques pour des applications spatiales. Actuellement un retour sur expérience en environnement réel pourrait accélérer l'introduction des technologies RoF pour les besoins spatiaux. C'est dans ce contexte que Thales Alenia Space et le CNES ont offert l'opportunité aux étudiants de l'Université de Toulouse de réaliser le nanosatellite NIMPH dédié au test en orbite d'une transmission RoF.

Plus précisément, l'objectif scientifique de ce projet est de concevoir, mettre sur orbite et contrôler un nanosatellite 3U (30x10x10 cm) ayant à bord une charge utile opto-microonde dédiée à la mesure de la dégradation d'une fibre dopée erbium exposée aux radiations cosmiques. Cette mission de 2 ans et la trajectoire en orbite basse (de 300 à 1500 km d'altitude) augmentent le challenge représenté par cette initiative. En effet, la faible dose radiative (environ 10 krad en 2 ans) nécessite la mise au point d'une architecture de mesure étant suffisamment sensible à la faible dégradation du gain et du facteur de bruit d'une fibre dopée erbium (1 dB). Les données mesurées seront envoyées vers une station radio terrestre.

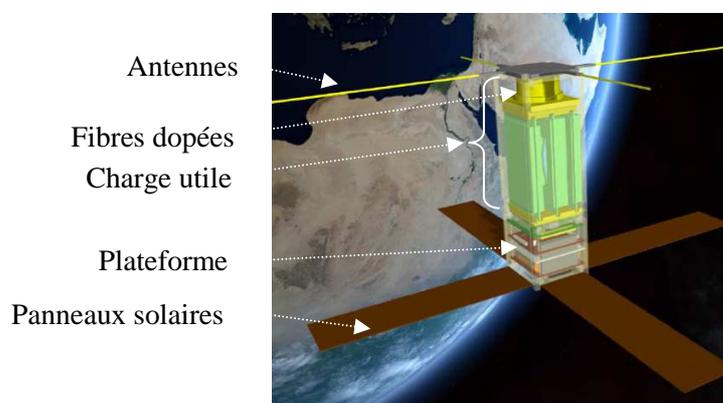


Fig. 1 : Vue 3D du nanosatellite NIMPH réalisée par les étudiants de M2 ESET à l'aide du logiciel d'ingénierie concurrente IDM-CIC développé par le CNES.

De plus, les conditions environnementales difficiles et la loi spatiale requièrent une réalisation stricte de la charge utile. Cependant, toute surenchère dans le design de la charge utile peut mettre en péril le succès de la mission. Bien que ce projet représente une belle opportunité de mettre en valeur de nouvelles technologies, les ressources allouées au test de vieillissement de la fibre dopée erbium sont relativement faibles : quelques centaines de grammes, et environ 10 W de consommation incluant la télémétrie. Ces limites réduisent d'un point de vue scientifique l'étendue des expérimentations, cependant d'un point de vue pédagogique ce projet demeure un véritable challenge. En effet, le projet nanosatellite NIMPH représente une opportunité unique et un instrument pédagogique moderne pour attirer et sensibiliser les étudiants aux thématiques scientifiques multiples concernant ce projet. A présent les étudiants impliqués sont des élèves ingénieurs de l'ISAE-Supaero, des étudiants de master ESET, de DUT GEII et GMP de l'Université Paul Sabatier de Toulouse. Les différentes réalisations associées au projet nanosatellite NIMPH rassemblent un grand nombre de disciplines scientifiques (électronique, photonique, thermique, mécanique, radio communication, gestion de mission spatiale) ce qui en fait un formidable outil pédagogique pluridisciplinaire. Notre intention dans cette présentation est de mettre en avant les réalisations apportées par les étudiants du Master ESET de l'UPS spécialisés en électronique, microonde et opto-microonde. Depuis la dernière accréditation de 2016 tous les enseignements dispensés en M2 ESET sont orientés autour du projet NIMPH.

## 2. REALISATIONS EXPERIMENTALES

La charge utile de NIMPH de dimensions (20x10x10 cm) regroupe deux charges utiles, RADMON (RADiation MONitoring) développée par le CERN et EDMON (Erbium Doped Fiber MONitoring) développée par les étudiants de Master ESET. Cette dernière s'apparente à un amplificateur à fibres dopées erbium remanié en un banc de mesure permettant de quantifier le gain et le facteur de bruit de trois fibres dopées enroulées sur une bobine exposée de façon optimale aux radiations cosmiques (fig.1).

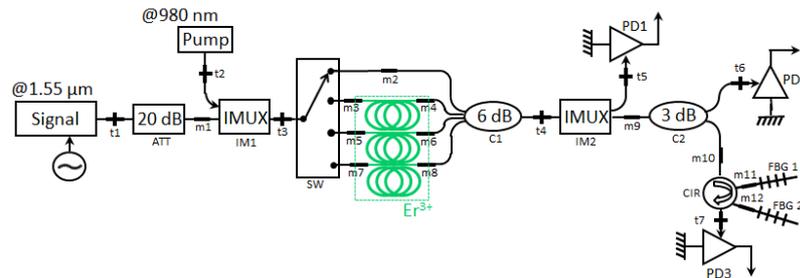


Fig. 2 : Synoptique de la charge utile EDMON de NIMPH.

La mesure du gain est optimisée par calibration et mesure du gain RF de la transmission d'une onde 10 MHz appliquée au laser signal. Deux mesures de bruit distinctes garantissent deux approches permettant de remonter à l'interprétation du facteur de bruit de chaque fibre dopée [2]. Les fibres dopées qui sont embarquées possèdent des propriétés physiques différentes. Deux d'entre elles sont durcies aux radiations, la dernière ne l'est pas. Des modélisations numériques sont menées afin de dimensionner la longueur de chacune de ces fibres de sorte qu'elles possèdent les mêmes propriétés initiales de gain en début de mission.

L'asservissement en température et en courant des lasers, le contrôle du commutateur opto-mécanique, la mesure des grandeurs électriques issues des photodiodes et leur conversion analogique-numérique ont fait office de plusieurs projets et stages ayant conduit à la maturation de la carte optoélectronique (fig.3a) qui fera partie intégrante d'EDMON. D'autres projets ont permis de tester indépendamment l'asservissement de capteurs RadFET pour la mesure de la dose cumulée (fig.3b) où la mesure de bruit électrique sur une plage de 100 MHz au pied de la porteuse du laser amplifié (fig.3c).

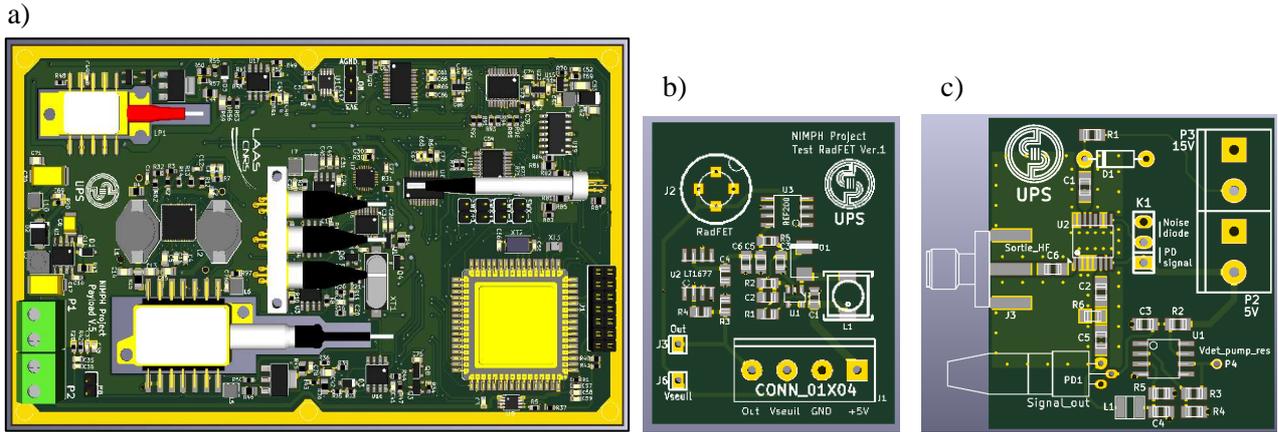


Fig. 3 : a) Schéma développé sous Kicad de la carte optoélectronique d'EDMON (13x8 cm) ; b) PCB test du Radfet ; c) PCB dédié au test de la mesure du bruit électrique afin de déduire le facteur de bruit de la fibre dopée.

Le 12 mars 2018, la collaboration d'étudiants d'ISAE Supaero et de l'UPS a permis de tester la fiabilité d'une partie des composants optiques d'EDMON (laser, commutateurs opto-mécaniques, coupleurs optiques et photodiodes) au travers du tir d'une roquette expérimentale REXUS 24 (fig.4a) conçue par l'ESA. La charge utile MORE (Measuring Optoelectronics in a Rocket Experiment), fig.4b a pu démontrer expérimentalement la tenue du commutateur optomécanique durant toute la trajectoire de la roquette.

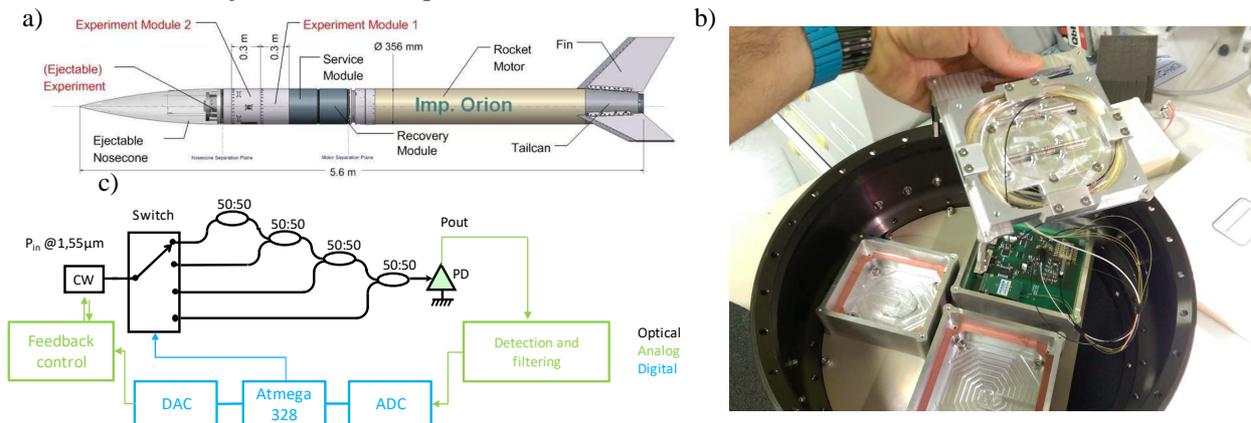


Fig. 4 : a) Schéma de la roquette expérimentale développée par l'ESA ; b) Synoptique de la charge utile MORE développée par les étudiants de Master ESET ; c) Photo de l'assemblage de la charge utile dans le module expérimental de la roquette.

## RÉFÉRENCES

- [1] O. Berné, M. Caussanel, O. Gilard, "A model for the prediction of EDFA gain in space radiation environment," IEEE Photonics Technology Letters, vol.16,n°10, 2004.
- [2] A. Fernandez, O. Llopis, N. Nolhier, C. Viallon, A. Rissons, F. Destic, S. Lizy-Destrez, "A 3U cubesat to investigate erbium doped fiber degradation at low earth orbit," IEEE Avionics and Vehicles Fiber Optics and Photonics Conference (AVFOP), Long Beach (USA), Oct 31-Nov 3th, 2016.

# EXPERIENCES DIDACTIQUES AUTOUR DU PHENOMENE DE REFLEXION TOTALE: LA FONTAINE LASER ET LA TRANSMISSION DU SON PAR LASER

Jean-Philippe Loisel<sup>1</sup>, Matthias Büchner<sup>1</sup>

<sup>1</sup>LCAR Laboratoire Collisions Agrégats Réactivité UMR CNRS 5589-IRSAMC,  
Université Toulouse III, 31062 Toulouse, France

## RÉSUMÉ

La fibre optique a révolutionné notre monde. Cette technologie est basée sur l'optique géométrique et en particulier sur la réflexion totale.

Deux expériences sont présentées ici : Une fontaine laser montre le guidage d'un faisceau laser dans un jet de liquide et la transmission du son par modulation d'une diode laser est illustrée. L'objectif est de sensibiliser un large public et d'éveiller la curiosité.

**MOTS-CLEFS :** *Réflexion totale ; laser ; modulation ; fibre optique*

## 1. LA FONTAINE LASER

Une réflexion totale d'un faisceau lumineux peut se faire lorsque ce faisceau traverse un objet séparant deux milieux d'indices optiques différents. Dans notre fontaine, un jet d'éthylène glycol constitue l'objet optique et la réflexion se fait à l'interface entre l'air et l'éthylène glycol.

Le dispositif est composé de deux cuves, l'un servant de réservoir de liquide est reliée à une pompe qui alimente l'autre cuve, qui se situe en hauteur.

Cette cuve supérieure dispose d'un trou circulaire muni d'un bec en dural usiné permettant de disposer d'un jet laminaire d'éthylène glycol dont sa viscosité minimise les turbulences du jet et optimise ainsi la vision du phénomène de réflexion totale.

Ce phénomène est rendu visible sur les parois du liquide par l'injection de trois faisceaux laser provenant de 3 diodes de longueurs d'ondes différentes (473 nm, 532 nm & 650 nm) séquencés électroniquement par alternance.

## 2. TRANSMISSION DU SON PAR LASER

La figure 1 montre notre dispositif expérimental. La table optique dispose de deux diodes laser à 532 nm et 650 nm dont. Le courant d'alimentation de chaque diode est modulé par le signal de sortie d'un lecteur MP3, i.e. l'intensité laser est ainsi modulée et les informations sont transmises par le faisceau lumineux de la diode émettrice.

Le premier faisceau en sortie de diode laser verte se propage en mode libre. L'intensité du laser est mesurée grâce à un photodétecteur. Le signal électrique résultant est amplifié et la modulation est rendu audible grâce à un haut-parleur : après un parcours libre les données stockées sur le MP3 sont transmises grâce au faisceau laser.

Des composants optiques couramment utilisés dans nos laboratoires (densité optique à gradient variable, diaphragme circulaire) peuvent être insérés sur le trajet optique pour rendre l'expérience plus interactive.

Le trajet optique de la seconde diode laser est quant à lui mis en forme à partir de miroirs et vient se superposer avec le premier faisceau via une lame semi transparente. Les deux signaux sont de ce fait injectés dans la même fibre optique.

Ayant deux longueurs d'ondes différentes, ce deux faisceaux laser sont ensuite séparés spatialement par un prisme (phénomène optique de dispersion). Ils sont être ensuite analysés séparément par deux photodétecteurs : deux jeux de données sont transmis par une seule fibre optique !

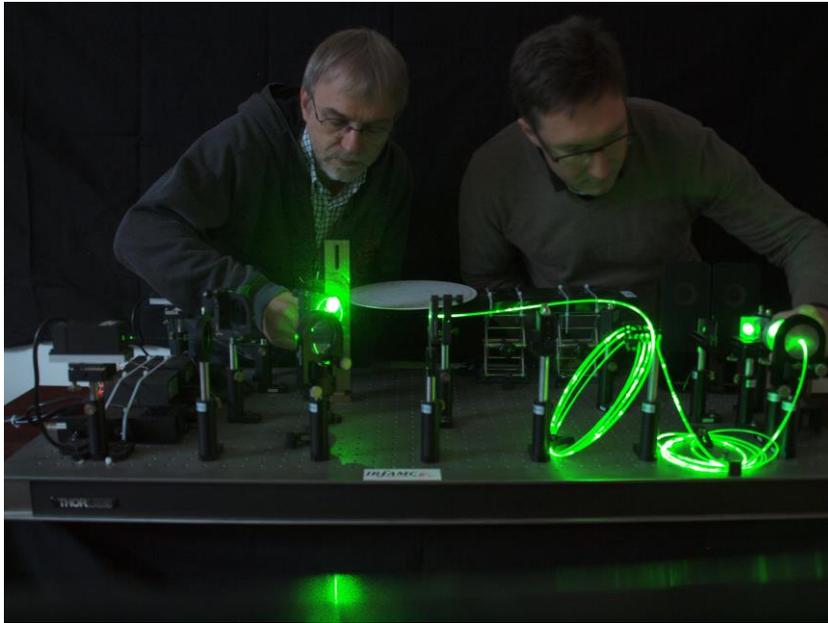


Fig. 1 : Système de transmission du son par laser

## CONCLUSION

Ses expériences ont été réalisées grâce aux compétences en vulgarisation des chercheurs et aux services communs de notre laboratoire LCAR. Elles ont été mises à jour au gré des manifestations in situ (Journées Portes Ouvertes) ou en fonctions des demandes extérieures.

Ces dispositifs expérimentaux ont fait l'objet de présentations locales lors de diverses manifestations locales telles que « Lumière, Faites l'expérience » à l'espace Bazacle 2015, à la Cité de l'Espace et au Quai des Savoirs pour la Nuit des Chercheurs éditions 2016 & 2017. La version « grand format » de la fontaine laser sera présentée du 12 mars au 25 avril 2018 à Sablé sur Sarthe suite à une demande de Maine Sciences. Une démonstration est prévue dans le courant de cette année auprès des détenus au centre pénitentiaire de Saint Sulpice la Pointe organisé par l'association « Les Etoiles Brillent Pour Tous ».

# OPTIQUE ET PHÉNOMÈNE DE MOIRÉ : LE MOIRÉ COMME INTERFÉROMÈTRE GRAPHIQUE

Jean-Claude Pissondes

ESIEA, 74 bis Avenue Maurice Thorez, 94200 Ivry-sur-Seine, France

jcpissondes@aim.com

## Résumé

Dans la présentation de ce poster, on montre que le mécanisme du « moiré » constitue pour étudiants et enseignants un moyen simple mais efficace pour illustrer les phénomènes et les applications de l'Optique ondulatoire. En particulier, on expose la méthode du « moiré d'ombre » dans l'étude d'une surface en la comparant à l'analyse interférométrique d'un relief.

**MOTS-CLEFS :** *moiré ; interférences ; « moiré d'ombre » ; analyse interférométrique*

## 1. INTRODUCTION

Un « moiré » est le nom donné au motif généralement bidimensionnel obtenu à partir de la superposition de deux ou plusieurs motifs périodiques (Figure 1). Les figures qu'offre le phénomène de moiré se distinguent par leur caractère très esthétique et par la possibilité de créer des images animées très spectaculaires.

Mais l'une des principales caractéristiques du moiré est qu'il est « macroscopique », c'est-à-dire *bien visible à l'œil nu*, alors que les motifs qui le génèrent peuvent être « microscopiques », c'est-à-dire *quasiment imperceptibles sans instrument* (Figure 2). De plus, un moiré nous renseigne par sa structure sur les caractéristiques des motifs générateurs et sur leur positionnement relatif : on accède ainsi par des *mesures sur un motif macroscopique* à des *caractéristiques et configurations microscopiques* [1].

## 2. MOIRÉ ET INTERFÉRENCES

L'Optique ondulatoire nous a habitués aux bénéfices qu'offre un tel mécanisme dans des processus de mesure et d'analyse : la simple lecture d'un déplacement bien visible de franges ou d'anneaux d'interférences donne accès à des longueurs et des variations souvent bien inférieures au micromètre. Au fond, un interféromètre réalise par son mécanisme même *ce que réalise graphiquement* le processus qui donne lieu au moiré : la superposition de deux ondes cohérentes conduit à une figure périodique qui porte les caractéristiques des ondes superposées et de leur situation relative. Une *modification macroscopique* de cette figure traduit un *changement de configuration inaccessible directement*. L'objectif de cette présentation au sein de ce poster est double :

- Rappeler les mécanismes à l'œuvre dans l'obtention d'un moiré et montrer que celui-ci constitue une illustration graphique simple mais très explicite des phénomènes et applications typiques de l'Optique ondulatoire : principe de superposition et interférences, battements, longueur de cohérence, analyse interférométrique de surface, holographie, etc.
- Exposer les moyens d'analyse qu'offre ce phénomène associé à l'Optique. La plupart du temps, c'est dans l'étude de la topographie d'une surface matérielle qu'on l'utilise [2, 3] : la superposition d'une trame témoin régulière et d'une trame de même pas qui épouse la surface d'étude, crée des *franges de moiré directement reliées au relief* de la surface (Figures 3 et 4). Sa mise en évidence est réalisée par « interférence » d'une *trame témoin plane* et d'une *trame altérée* porteuse des informations sur les écarts à la planéité. Un tel mécanisme s'identifie clairement à celui à l'œuvre dans l'analyse interférométrique d'une surface : *franges de moiré* et *franges d'égale épaisseur* correspondent, dans les deux cas, aux *courbes de niveau* du relief étudié. Cette méthode offre la possibilité de mettre en évidence *sans contact* les défauts, les aspérités et les déformations de la surface d'un miroir, d'une pièce mécanique quelconque ou même d'un système biologique.

## 3. PERSPECTIVES ET CONCLUSION

Tous ces thèmes font partie d'un projet tuteuré destiné à des étudiants en École d'ingénieurs. Ils mettent en jeu observations qualitatives, prévisions par le calcul et réalisations expérimentales.

Ces sujets et activités s'adressent aussi aux élèves et étudiants qui, dès la Terminale ou dès L1, doivent réfléchir aux phénomènes périodiques, à leur manifestation et à leur utilisation en Optique ondulatoire, en acoustique ou, plus tard dans leurs études, en traitement du signal.

Enfin, ils concernent les enseignants qui disposent par leurs illustrations de moyens visuellement simples mais convaincants pour expliquer les notions rencontrées dans ces disciplines.

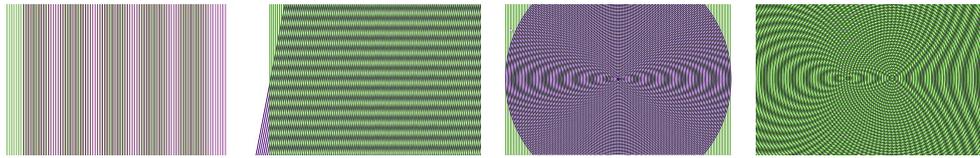


FIGURE 1 – Exemples de franges de moiré



FIGURE 2 – Le moiré au quotidien généré par des trames « microscopiques »

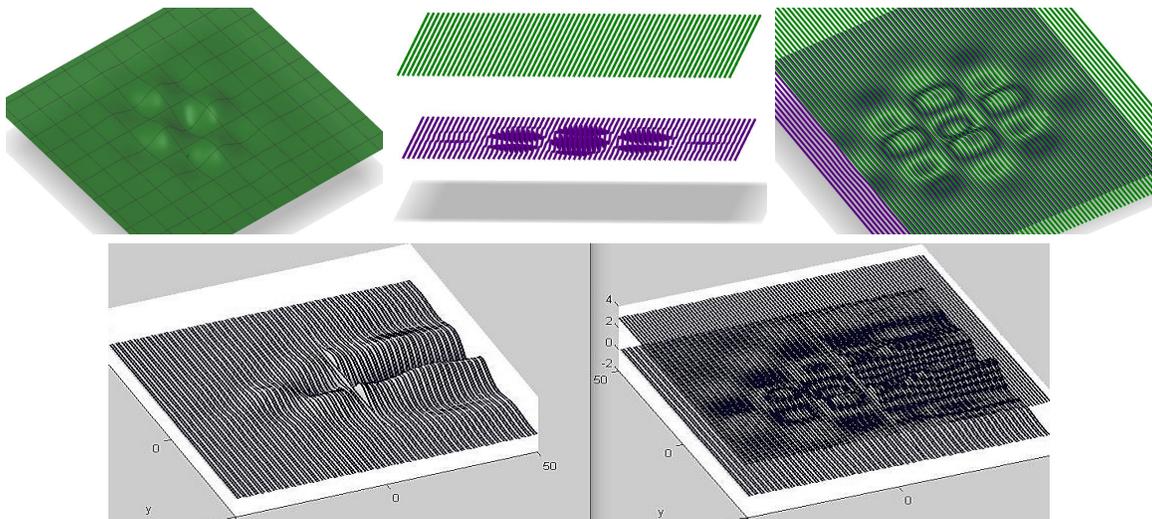


FIGURE 3 – Principe du « moiré d'ombre » : franges de moiré et courbes de niveau d'une surface

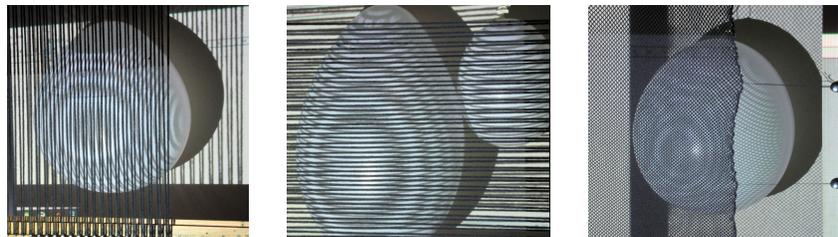


FIGURE 4 – Réalisation rudimentaire du « moiré d'ombre » pour des surfaces quasi-sphériques

#### RÉFÉRENCES

- [1] Jacques Harthong, « Le Moiré », *Advances in applied mathematics* 2, 24-75, 1981.
- [2] J-P. Collet, J. Marasco et L. Pflug, « Le moiré d'ombre : une méthode expérimentale et ses possibilités », *Bulletin technique de la Suisse romande*, 179-187, 1974.
- [3] C. Brèque et F. Brémand, « Modélisation de forme 3D par méthode de moiré de projection et analyse par décalage de phases », tiré de [https://www.researchgate.net/publication/268361338\\_Modelisation\\_de\\_forme\\_3D\\_par\\_methode\\_de\\_moire\\_de\\_projection\\_et\\_analyse\\_par\\_decalage\\_de\\_phases](https://www.researchgate.net/publication/268361338_Modelisation_de_forme_3D_par_methode_de_moire_de_projection_et_analyse_par_decalage_de_phases)