

## PROPOSITION DE PROJET DOCTORAL

### RENTRÉE 2015

#### RENSEIGNEMENTS ET RÉSUMÉ DU PROJET

**Unité (intitulé - code) :** Laboratoire de Chimie Physique – Matière et Rayonnement – UMR 7614

**Titre du projet (2 lignes max.) :** Développement de la méthodologie des ondes stationnaires pour sonder les processus physico-chimiques (diffusion ...) aux interfaces des multicouches périodiques

**Mots clés (4 maxi.) :** interface, multicouche, ondes stationnaires, spectroscopie

**Directeur de thèse (préciser la fonction) :** Dr. Philippe JONNARD

**Email :** [philippe.jonnard@upmc.fr](mailto:philippe.jonnard@upmc.fr)

**Téléphone :** 01 44 27 63 03

**Bilan des encadrements du directeur de thèse sur les 5 dernières années :**

Nom du doctorant	Type de financement	Date de début	Date de fin (effective ou prévue)
G. Turk	CEA	2008	2011
M.-H. Hu	ED 388	2008	2011
Y.-Y. Yuan	ED 388	12/2011	10/2014
Y.-C. Tu	EGIDE	03/2011	03/2015
<b>3 publications du directeur de thèse en rapport avec le sujet</b>	Spontaneous x-ray fluorescence from a superlattice under Kossel diffraction conditions, P. Jonnard et al. J. Phys. B47, 165601 (2014)		
	Co/Mo <sub>2</sub> C mirror as studied by x-ray fluorescence and photoelectron spectroscopies induced by x-ray standing waves P. Jonnard et al., Proc. SPIE <b>8550</b> , 85501D (2013)		
	Feasibility considerations of a soft-x-ray distributed feedback laser pumped by an X-FEL J.-M. André, K. Le Guen, P. Jonnard, Laser Phys. <b>24</b> , 085001 (2014)		
<b>Co-encadrements ou co-direction</b>	Dr. K. Le Guen, <a href="mailto:karine.le_guen@upmc.fr">karine.le_guen@upmc.fr</a>		
<b>Intégration du projet dans le cadre de collaborations</b>			

**Résumé du projet (10 lignes max., ce résumé servira à la mise en ligne) :**

La connaissance des processus physico-chimiques interfaciaux, telle l'interdiffusion, est essentielle pour le développement des multicouches travaillant dans le domaine des rayons X mous. Nous développons une méthodologie originale de caractérisation basée sur la technique des ondes stationnaires, qui permet d'exciter des endroits précis d'un empilement périodique. Ainsi, les spectroscopies de fluorescence ou de photoelectrons sont utilisées pour obtenir une information en profondeur avec une sensibilité sub-nanométrique. Une originalité de ce travail sera de concevoir et de travailler avec des systèmes tri-couches et en combinant deux modes d'analyse. Cette étude nécessitera l'usage du rayonnement synchrotron. Beaucoup de

simulations numériques seront nécessaires pour concevoir les échantillons, planifier les expériences et traiter les données. L'information obtenue améliorera notre connaissance des phénomènes ayant lieu aux interfaces et aidera à développer de nouvelles multicouches aux performances, réflectance pureté spectrale, optimisées.

## DESCRIPTION DETAILLEE

### **Placer le sujet de thèse dans un contexte général (10 lignes max.)**

Notre équipe travaille au développement de multicouches périodiques pour leur application comme composants optiques dans le domaine des rayons X mous. L'équipe développe aussi des méthodologies originales pour caractériser ces multicouches, car leurs propriétés optiques dépendent de la qualité des interfaces. Nous prévoyons d'utiliser une excitation par ondes stationnaires pour réaliser la caractérisation en profondeur des empilements multicouches avec une résolution en profondeur de l'ordre de 0,1 nm. En effet, une onde stationnaire de forte amplitude est générée dans une multicouche périodique quand elle est irradiée par un faisceau de rayons X dans les conditions de Bragg. Cette onde a la périodicité de la multicouche. En changeant l'angle d'attaque, il est possible de décaler la position des nœuds du champ électrique et ainsi de produire une excitation à des endroits précis de l'empilement, le centre des couches ou les interfaces.

### **Description des différents objectifs, de la stratégie envisagée pour les atteindre, du planning de travail. (10 lignes max.)**

Les ondes stationnaires peuvent être utilisées pour générer des photoélectrons ou de la fluorescence X. Dans le premier cas, nous prévoyons des expériences de photoémission pour sonder les premières couches des multicouches. La variation de l'épaisseur analysée se fait en utilisant une excitation par des rayons X mous ou durs. Dans le second cas, tout l'empilement sera sondé par fluorescence. Ces expériences nécessitent le rayonnement synchrotron. Cependant des expériences préliminaires, avec excitation photonique ou électronique seront effectuées sur le spectro-goniomètre de l'équipe. Pour concevoir les multicouches, préparer les expériences et analyser les résultats, le candidat devra effectuer des simulations basées sur la résolution des équations de Maxwell dans les milieux périodiques. Il participera aussi aux dépôts de certains échantillons sur la machine du LCPMR. L'équipe collabore sur ce sujet avec des équipes en France et en Chine et aussi avec les collègues des lignes synchrotron.

### **Discuter l'équilibre entre la prise de risque et la faisabilité du projet. (10 lignes max.)**

La technique des ondes stationnaires est maintenant bien établie pour étudier cristaux et multicouches, même si elle n'est pas trop utilisée dans les rayons X mous. Dans le cas des multicouches, elle est utilisée uniquement pour les structures bi-couches mais nous avons démontré son utilité pour les structures tri-couches. Nous sommes donc confiants en ce qui concerne la caractérisation des multicouches et le principal défi consistera à obtenir régulièrement du temps de faisceau synchrotron. Nous avons récemment montré les potentialités de la méthode en travaillant en mode Kossel (glancing exit) et ses perspectives pour développer de nouveaux lasers. C'est un sujet à explorer qui reposera sur des simulations et des expériences synchrotron préliminaires et aussi sur l'obtention de temps de faisceau.

## PROPOSITION DE PROJET DOCTORAL RENTRÉE 2015

### INFORMATION AND ABSTRACT

<b>Unit (title - code) :</b> Laboratoire de Chimie Physique – Matière et Rayonnement – UMR 7614
---

<b>Title of project :</b> Development of the x-ray standing-wave methodology to probe the physical-chemical processes at the interfaces of periodic multilayers
---

<b>Keywords :</b> interface, multilayer, standing-wave, spectroscopy
--

<b>Supervisor:</b> Dr. Philippe JONNARD	
---	--

<b>Email :</b> <a href="mailto:philippe.jonnard@upmc.fr">philippe.jonnard@upmc.fr</a>	<b>Phone :</b> +33 1 44 27 63 03
---	----------------------------------

<b>3 publications in relation with the subject</b>	Spontaneous x-ray fluorescence from a superlattice under Kossel diffraction conditions, P. Jonnard et al. J. Phys. B47, 165601 (2014)
--	--

	Co/Mo <sub>2</sub> C mirror as studied by x-ray fluorescence and photoelectron spectroscopies induced by x-ray standing waves P. Jonnard et al., Proc. SPIE <b>8550</b> , 85501D (2013)
--	--

	Feasibility considerations of a soft-x-ray distributed feedback laser pumped by an X-FEL J.-M. André, K. Le Guen, P. Jonnard, Laser Phys. <b>24</b> , 085001 (2014)
--	--

<b>Co-supervisor</b>	Dr. K. Le Guen, <a href="mailto:karine.le_guen@upmc.fr">karine.le_guen@upmc.fr</a>
----------------------	--

#### **Abstract :**

The knowledge of interfacial phenomena such as interdiffusion is critical for the development of multilayers operating in the soft x-ray range. We develop an original characterization methodology based on the x-ray standing-wave technique, which enables to excite specific locations within a periodic stack. Thus photoelectron or x-ray fluorescence spectroscopies can be used to get depth-selective information with a sub-nanometer sensitivity. An originality of this work will be to design and work with tri-layered systems and also in both glancing incidence and glancing exit modes. This study would require the use of the synchrotron radiation. Large amount of simulations will be necessary to design the samples, plan the experiments and handle the data. The collected information will improve our knowledge of the phenomena taking place at the interfaces of the multilayers and thus will help to produce new multilayers exhibiting optimized optical performances (reflectance, spectral purity).

### DETAILED DESCRIPTION

#### **Subject of the PhD in the general context**

Our team is working on the development of periodic multilayers for their application as optical components in the soft x-ray range. The team also develops original methodologies to characterize these multilayers, as their optical performances strongly rely on the structural quality of their interfaces. We aim at using x-ray standing-wave excitation to perform the in-

depth characterization of multilayered stacks with a depth resolution of about 0.1 nm in order to be able to probe their interfaces. Indeed, a strong standing-wave field is generated within a periodic multilayer when it is irradiated by an incident x-ray beam under the Bragg condition. The generated standing-wave has the period of the multilayer. By slightly changing the glancing angle it is possible to shift the position of the nodes and anti-nodes of the electric field and so to produce excitation at some precise locations of the stack, the centre of the layers or the interfaces.

**Description of the different objectives, of the envisaged strategy to reach them**

The x-ray standing-wave can be used to generate photoelectrons or fluorescence. In the first case, photoemission experiments will be planned to probe the first layers of the multilayers. The change of the analyzed depth is obtained by using either soft- or hard x-ray excitation. In the second case, x-ray fluorescence will analyze the whole thickness of the stack and give the spatial distribution of the emitting elements. These experiments require the synchrotron radiation. However, some tentative experiments, electron excited x-ray fluorescence, will be tested with the laboratory spectro-goniometer of the team. To design the multilayers, prepare the planned experiments and then analyze the obtained results, the candidate should perform simulations based on the solving of the Maxwell equations in periodic media. He will also participate to the deposition of the sample on the LCPMR apparatus. The team is collaborating on this subject with French and Chinese optical institutes as well as with scientists of synchrotron beamlines.

**Equilibrium between risk and feasibility of the project**

The x-ray standing-wave technique is now well-established to study crystals or multilayers even if it is not so widely used in the soft x-ray range. In the case of multilayers, it is used only for bi-layered structure but we have demonstrated its usefulness for the study of tri-layered structures also. So, we are confident regarding the multilayer characterization, and the main challenge will be to obtain some beamtime on synchrotron radiation facilities. The x-ray standing-wave technique is mainly used in the glancing incidence mode ; we recently used it in the glancing exit mode and shown the potentiality to build a soft x-ray laser if used on a free electron laser. This is a more prospective topics which would rely on preliminary simulations, synchrotron experiments and again on getting some beamtime.