



<b>Titre Thèse</b>	Extensions métrologiques de l'acoustique picoseconde colorée : quantification des énergies d'interface et mesure des contraintes internes	
<b>(Co)-Directeur</b>	Arnaud DEVOS	E-mail : Arnaud.Devos@isen.iemn.univ-lille1.fr
<b>(Co)-Directeur</b>		E-mail :
<b>Laboratoire</b>	IEMN	Web : www.iemn.fr
<b>Equipe</b>	Nanoacoustique	Web :
	Contrat Doctoral Etablissement	Lille 1 <input type="checkbox"/> UVHC <input type="checkbox"/> ECL <input type="checkbox"/> ISEN-YNCREA <input type="checkbox"/>
<b>Financement prévu</b>	Président-Région <input type="checkbox"/>	Région – Autre <input type="checkbox"/> Préciser : Région
<b>Acquis</b> <input type="checkbox"/>	Président- Autre <input type="checkbox"/> Préciser	DGA – Autre <input checked="" type="checkbox"/> Préciser CNES
	Contrat de recherche <input type="checkbox"/> Type	Autre <input type="checkbox"/>

### Résumé du sujet :

L'objet de cette thèse sera d'explorer différentes extensions des possibilités métrologiques de l'Acoustique Picoseconde Colorée (APiC), une nouvelle technique laser permettant de détecter les interfaces fragilisés sans détruire ni même toucher l'échantillon. La technique est d'ores et déjà utilisée pour mesurer des propriétés élastiques et des épaisseurs de couches minces ; elle permet également de détecter les interfaces fragiles dans un empilement complexe. Mais à cette date, la technique ne permet pas de quantifier l'énergie d'adhésion ce qui la rendrait quantitative. Dans une seconde voie d'exploration, nous voudrions démontrer qu'en utilisant les mêmes ondes acoustiques de très hautes fréquences nous pourrions remonter à l'état de contraintes mécaniques d'une couche mince.

### Description détaillée du sujet :

Le contexte de ce projet est le besoin sans cesse croissant en caractérisation de couches minces. Ces couches sont la plupart du temps localisées dans des empilements complexes combinant différents matériaux qu'ils soient transparents ou opaques. La couche mince a une épaisseur s'étendant de quelques nanomètres à quelques centaines de nanomètres. Un problème métrologique propre aux empilements est le contrôle des interfaces. En effet nombre de défaillances de dispositifs trouvent leur origine dans une adhésion insuffisante entre deux couches ou entre une couche et le substrat. Et peu de techniques permettent de tester la qualité d'une interface, les techniques existantes sont destructrices et peu répétables comme le test scotch ou la flexion 4 points. Un autre point récurrent dans l'élaboration des empilements de couches minces est la maîtrise des contraintes internes qui apparaissent naturellement lors du dépôt des matériaux. Souvent responsables de dégradations des empilements, elles peuvent aussi être utilisées à des fins applicatives comme c'est le cas dans les transistors MOS à canal contraint. La mesure des contraintes mécaniques d'une couche mince reste délicate. Aujourd'hui la mesure passe par une mesure de déformation (rayons X ou déflexion d'un substrat de grande taille), l'état de contrainte étant ensuite déduit des propriétés élastiques de la couche.

L'APiC est une technique laser qui produit et détecte des ondes acoustiques d'ultra-haute fréquence (typiquement 100 GHz) réalisant un SONAR à l'échelle nanométrique. En suivant la transmission et la réflexion de ces ondes acoustiques à l'interface entre deux couches, il est possible de détecter une anomalie d'adhésion entre les couches. Inventée à l'IEMN à la fin des années 1990, la technique est à présent commercialisée par la spin-off MENAPiC pour réaliser des mesures élastiques et contrôler les interfaces d'empilements hétérogènes.

L'objet de cette thèse est d'explorer deux voies possibles d'extension de la technique : d'une part examiner la possibilité de rendre la technique quantitative dans la caractérisation d'interfaces ; d'autre part, démontrer la possibilité de mesurer les contraintes internes d'une couche mince en utilisant les mêmes ondes hypersonores.

Faire de l'APiC une technique quantitative pour la mesure d'adhésion constituerait une révolution dans le domaine de l'adhérence. Aujourd'hui les techniques en places sont peu répétables, destructrices et incompatibles avec la géométrie réelle des objets. Si l'APiC peut d'ores et déjà détecter les interfaces fragiles d'un empilement, cartographier la qualité de l'interface depuis la surface de l'échantillon, elle ne peut donner une valeur quantitative de l'énergie d'adhésion. La première voie d'exploration consistera donc à établir un pont entre les mesures acoustiques et mesures quantitatives d'adhésion. Pour cela la nouvelle technique sera confrontée à d'autres techniques existantes.

Pour faire de l'APiC une technique capable de mesurer l'état de contraintes internes d'une couche mince, nous comptons utiliser le fait que l'état de contraintes d'un matériau affecte ses constantes élastiques du troisième ordre. Autrement dit, selon l'état de contraintes du matériau, la vitesse de propagation des ondes sonores varie légèrement. L'effet est souvent faible mais l'APiC offrant la possibilité de mesurer très précisément la vitesse du son dans des couches minces, nous pensons qu'il serait possible de quantifier l'état de contrainte à partir de l'écart à la valeur de référence. Un matériau sera choisi pour faire une démonstration de cet effet et établir le protocole expérimental à suivre pour remonter à l'état de contrainte de la couche.