

Dominique Barchiesi^{1,3*} et Antoine Grall^{2,3}

1. Projet INRIA/UTT Génération Automatique de Maillage et Méthodes Avancées (GAMMA3)

2. Laboratoire de modélisation et sûreté des systèmes (LM2S)

3. Institut Charles Delaunay, UMR Sciences et Technologies pour la Maîtrise des Risques (STMR) UMR CNRS (6279)
Université de technologie de Troyes, Troyes

* dominique.barchiesi@utt.fr

La plasmonique est devenue une sous-discipline de la physique à part entière. Aujourd'hui, les applications sont innombrables. Citons la production d'énergie, la biomédecine, l'électronique et les télécoms, parmi-d'autres. Dans le domaine de la biomédecine, un capteur plasmonique, le SPR (Surface Plasmon Resonance) est abondamment utilisé pour mesurer notamment la présence de biomarqueurs, connus pour être impliqués dans l'apparition ou la progression de pathologies. Il est commercialisé par plusieurs sociétés. Il est constitué d'un mince film d'or déposé sur un substrat en verre, recouvert d'une couche de fonctionnalisation qui permet de fixer les molécules recherchées. Le système est ensuite éclairé par un laser, sous variation angulaire de l'incidence, de manière à détecter la translation de la trace du plasmon traduite par un minimum de réflexion (Fig. 1).

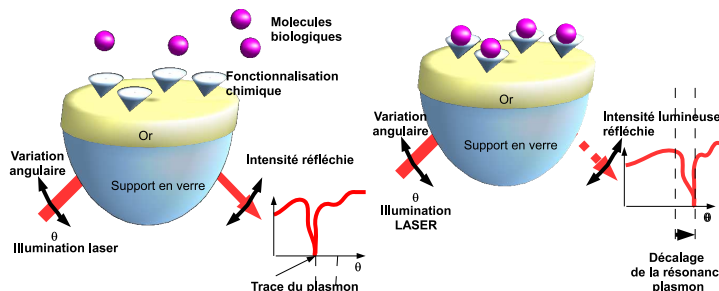


Fig. 1: Principe du biocapteur SPR : l'accroche de molécules sur la couche de fonctionnalisation modifie l'indice optique du milieu de détection et donc décale la résonance plasmon et sa trace qui est détectée en enregistrant la variation d'intensité réfléchie en fonction de l'angle d'incidence.

Le principe de ce biocapteur repose sur la résonance plasmon d'une couche métallique, éclairée par une onde plane et monochromatique. Un modèle très simplifié de ce phénomène néglige l'éventuelle couche d'accroche, généralement en chrome, de l'or sur le substrat en verre [1], et la couche de fonctionnalisation, d'indice optique légèrement différent de celui du milieu contenant les molécules. Dans ce cas, la description de la résonance plasmon peut être facilement étudiée dans les cours d'électromagnétisme, en début de cursus universitaire. Cependant, même dans ce cas simple, le modèle fait intervenir des fonctions multivaluées, de la variable complexe (logarithme, racine carrée) [2]. Il faut porter une attention particulière à la définition et aux propriétés de ces fonctions, sous peine de conclure trop hâtivement, à partir de simulations numériques. Afin de clarifier ce problème réputé simple, nous proposons de discuter le modèle considéré sous quatre aspects principaux :

- mathématique : valuation des fonctions complexes, incidences sur les propriétés d'extension de l'espace des réels à celui des complexes, influences sur le calcul de la résonance [3] ;
- physique : expression rigoureuse de la résonance et modes propres ; il sera montré en particulier que la résonance plasmon ne peut être rigoureusement excitée, mais que sa trace est effectivement mesurée. Elle est obtenue par l'intersection d'une nappe définie dans l'espace des nombres complexes, avec le plan contenant l'axe réel et défini pour une partie imaginaire nulle [3].
- numérique : formulation du problème et propagation d'erreurs numériques [4, 5] ;
- heuristique : hypothèses simplificatrice, domaines de validités et incertitudes sur les paramètres du modèle :
 - détermination des paramètres clés du système ;

- étude de sensibilité aux paramètres expérimentaux (propagation d'incertitudes) et tolérance expérimentale sur les procédés de fabrication ;
- Étude de la sensibilité du biocapteur.

Un retour sur la suppression de paramètres non critiques dans le modèle sera discutée. En conclusion, un modèle réaliste est établi et caractérisé, pour être utilisé sous des contraintes numériques fortes pour l'optimisation des systèmes [1], voire pour le rétro-engineering. La pré-étude du modèle et de ses caractéristiques nous permettra d'illustrer le fonctionnement du capteur par des animations montrant la manifestation du phénomène de résonance et permettra de faire le lien, entre modèle et fabrication industrielle, en s'inspirant des procédures utilisées en mécanique pour l'aéronautique.

Acknowledgments. The research leading to these results has received funding from the European Union Seventh Framework Programme (FP7/2007-2013) under grant agreement n° 241818 (FP7-HEALTHF5-2009-241818-NANOANTENNA).

Références

- [1] D. Barchiesi, D. Macías, L. Belmar-Letellier, D. Van Labeke, M. Lamy de la Chapelle, T. Toury, E. Kremer, L. Moreau, et T. Grosge, "Plasmonics: Influence of the intermediate (or stick) layer on the efficiency of sensors", *Appl. Phys. B* **93**, pp. 177-181 (2008).
- [2] R. Bradford, R M. Corless, J. H. Davenport, D. J. Jeffrey et S. M. Watt, "reasoning about the elementary functions of complex analysis", *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence* **36**, pp. 303-318 (2002). (2009).
- [3] D. Barchiesi, E. Kremer, V.P. Mai et T. Grosge, "A Poincaré's approach for plasmonics: The plasmon localization", *J. Microscopy* **229**, pp. 525-532 (2008).
- [4] D. Barchiesi, B. Guizal et T. Grosge, "Accuracy of local field enhancement models: Toward predictive models?", *Appl. Phys. B* **84**, pp. 55-60 (2006).
- [5] H. Borouchaki, T. Grosge et D. Barchiesi, "Enhancement of the accuracy of numerical field computation using an adaptive three-dimensional remeshing scheme", *Comptes Rendus Mécanique*, **338**, pp. 127-131 (2010).