

# Modélisation de l'activité cérébrale

Comparaison de deux types de maillages pour le traitement des données MEG/EEG

**Durée du stage :** 3 mois.

**Lieu du stage :** INRIA Sophia-Antipolis.

**Encadrement:**

Théo Papadopoulos, projet Odyssée (<http://www-sop.inria.fr/odyssee/>)

Théo.Papadopoulos@sophia.inria.fr

Mariette Yvinec, projet Geometrica (<http://www-sop.inria.fr/geometrica/>),

Mariette.Yvinec@sophia.inria.fr

**Contexte :** La MEG et l'EEG sont des techniques qui permettent l'enregistrement au niveau du scalp des faibles champs électriques et magnétiques dus au fonctionnement du cerveau. Sur la base de ces mesures, il est possible de reconstruire l'activité électrique du cerveau (au niveau du cortex) en se servant des équations de Maxwell dans un cadre quasi statique. Pour cela, on adopte une approche de problème inverse (retrouver les sources de l'activité connaissant les mesures) couplée à des calculs de propagation à base d'éléments finis.

Pour décrire la géométrie de la tête, on se base sur une discrétisation de l'espace sous forme de maillage. Les événements d'intérêts correspondant à l'activité du cerveau se passent essentiellement dans le ruban cortical. Ce ruban qui correspond à la matière grise est délimité par deux surfaces assez proches. Or s'il est relativement facile d'extraire ces surfaces, obtenir un maillage volumique cohérent de la tête incluant ces surfaces s'avère assez difficile. Nous avons essayé plusieurs approches sans trouver de solution optimale. En effet, on se trouve confronté soit à des maillages très volumineux, soit à des maillages pour lesquels il est difficile de garantir qu'il couvre la totalité des volumes visés (problèmes de topologie), soit enfin à des maillages incohérents (interpénétration de surfaces) liés à des simplifications indépendantes des différentes surfaces interfaces. Ainsi, il est souvent arrivé que les temps nécessaires au maillage de la tête soient supérieurs aux temps de calculs nécessaires à la localisation des sources, notamment parce que les opérations de simplifications requièrent des interactions avec un utilisateur.

Face à ce problème, le projet Odyssée a développé une nouvelle méthode de représentation de la géométrie de la tête qui permet de passer directement des descriptions des interfaces par ensembles de niveaux (méthode de description des surfaces utilisée pour l'extraction des interfaces à partir des IRM anatomiques et qui permet d'avoir des garanties de topologies) aux matrices de structures impliquées dans les méthodes par éléments finis utilisées pour résoudre le problème direct EEG/MEG. Ceci est rendu possible par l'usage de maillages structurés hexaédriques (type images volumiques) avec gestion des problèmes de domaines partiels lorsqu'un voxel se trouve à cheval sur deux domaines géométriques. A l'heure actuelle, cette méthode a été implémentée et montre des résultats partiels prometteurs et des perspectives intéressantes : complexité des matrices de structures bornable a priori, implémentation très simple des techniques multi-échelle, méthode complètement automatique et relativement rapide par rapport aux approches semi-automatiques que nous avons utilisées jusque là. . . .

Il reste néanmoins à mener un travail de comparaison de la qualité des résultats

obtenus avec cette représentation et avec une approche plus classique à base de maillages simpliciaux. Le projet Géométrica a récemment développé un générateur de maillages simpliciaux, surfaciques ou volumiques, particulièrement adapté au traitement des données médicales. Basé sur les méthodes de raffinement de Delaunay et sur la notion de Delaunay restreint, ce mailleur permet de respecter les surfaces des interfaces. Il offre aussi des garanties sur la qualité du maillage et d'intéressantes possibilités pour adapter localement la finesse du maillage aux impératifs topologiques de la séparation des surfaces. L'objet de ce stage est de mener une étude comparative sur la qualité des reconstructions obtenues avec ces différents outils.

**Travail demandé :** Le travail du stagiaire se déroulera en 3 phases :

### 1. Sélection d'un jeu de donnée et segmentation.

En collaboration avec Jean-Michel Badier (Laboratoire de Neurophysiologie et Neuropsychologie de l'hôpital de la Timone à Marseille), on sélectionnera un ou deux jeux de données contenant une IRM anatomique et des mesures de MEG ou d'EEG. Les IRMs anatomiques seront utilisées pour segmenter la tête en différentes régions (scalp, crâne, liquide céphalo-rachidien, matière grise, matière blanche). Le résultat de cette segmentation est un ensemble d'images de niveau (le niveau zéro représentant l'interface) des interfaces air/scalp, LCR/matière grise et matière grise/matière blanche. Une sélection de niveaux judicieux permettra aussi de définir les interfaces scalp/crâne et crâne/LCR, le crâne étant peu visible dans les images IRMs.

### 2. Maillages des surfaces et des volumes, mesures de qualité du maillage

Les différents codes de reconstruction à base de maillage utilisent deux types d'approches:

- Une approche à base d'éléments finis surfaciques qui nécessitent donc des maillages de surfaces.
- Une approche à base d'éléments finis volumiques qui nécessitent donc des maillages volumiques.

Ces deux types de codes ont cependant des caractéristiques très différentes (matrices denses pour la première approche et matrices creuses pour la seconde), il faudra donc obtenir des maillages adaptés à chacun de ces cas. Dans le cas surfacique, on a des contraintes assez fortes sur le nombre total de sommets du maillage (car il est directement lié à la taille des matrices mises en jeu), dans le second les contraintes de tailles sont moins fortes, mais certaines interfaces étant très proches, il faudra s'assurer de la qualité des maillages obtenus.

A ce stade, on pourra déjà établir une première mesure de qualité des maillages (qualité d'approximation des maillages à taille donnée, taille des maillages à approximation donnée, ...). Des programmes permettant le calcul des mesures choisies devront être écrits.

### 3. Comparaison des solutions numériques

À partir des maillages obtenus à l'étape précédente (et aussi sur des maillages de simples sphères pour lesquelles il existe une solution analytique), on fera tourner les différents algorithmes d'Odysée et on comparera numériquement la qualité des résultats. La comparaison pourra se faire soit à taille de maillage fixée soit à temps de calcul donné. Un soin particulier devra être apporté à la manière de comparer des solutions obtenues à partir de maillages différents. Il sera nécessaire d'écrire des programmes de projection d'une solution d'un maillage à l'autre.

### Outils :

PC Linux, langage C++, Bibliothèque géométrique CGAL (<http://www.cgal.org>)

### Bibliographie :

- Geometry and Topologie for mesh generation. Herbert Edelsbrunner, Cambridge university press, 2001

- J. D. Boissonnat and S. Oudot. Provably good surface sampling and approximation. Proceedings of International Symposium on computational Geometry (2003).
- Meshing Volumes Bounded by Smooth Surfaces. Steve Oudot, Laurent Rineau and Mariette Yvinec. Proc. 14th International Meshing Roundtable, 2005, pp 203-219