

DIPLÔME NATIONAL DE DOCTORAT

(Arrêté du 25 mai 2016)

Date de la soutenance : **17 juin 2025**

Nom de famille et prénom de l'auteur. e : **Monsieur Sotirios PAPADOPOULOS**

Titre de la thèse : High-precision, personalized, and non-invasive brain decoding of upper limb movements.

Résumé



Les modulations d'amplitude verrouillées dans le temps des signaux cérébraux enregistrés dans le cortex sensorimoteur indexent divers processus liés à la planification, à l'exécution et à l'imagination des mouvements. Par rapport à une période de référence la puissance du signal dans les bandes de fréquences mu (8 – 13 Hz) et bêta (13 – 30 Hz) diminue avant le début d'un mouvement réel, tenté ou imaginé et augmente après son achèvement. Ces résultats reproductibles peuvent être utilisés pour décoder l'activité cérébrale liée à la motricité et sont exploités par applications. Les interfaces cerveau-ordinateur (BCI) se réfère aux applications qui permettent à un utilisateur de communiquer par la pensée avec un ordinateur en surveillant et en déduisant son état mental pour émettre une sortie appropriée. Les BCI par imagerie motrice (MI-BCI) constitue une catégorie de BCI qui utilise les changements de signaux dus à l'imagination de mouvements afin de produire des commandes, en ciblant généralement les modulations de signaux susmentionnées. Les MI-BCI sont la base des applications qui tentent de décoder l'intention motrice chez les patients souffrant de déficits divers afin de rétablir un certain niveau de communication avec leur environnement. Toutefois, ils sont encore loin d'une adoption généralisée en dehors des institutions de recherche. De multiples facteurs affectent la fiabilité des BCI. Dans ce

travail, nous supposons que l'un d'entre eux est lié aux caractéristiques du signal. Basés sur la littérature qui souligne l'importance de la caractérisation de l'activité transitoire dans le Chapitre 2 – Motivation nous suggérons que les MI-BCI devraient exploiter d'autres caractéristiques que la puissance du signal. Nous proposons qu'une analyse des propriétés du signal d'un seul essai qui ne se conforment pas à les oscillations soutenues, sinusoïdales peut fournir de nouvelles informations sur les processus cérébraux liés à la motricité et améliorer les performances des BCI.

Notamment, nous plaidons en faveur de l'analyse de l'activité des beta bursts et des caractéristiques oscillatoires, non sinusoïdales de la bande mu. En se concentrant sur la l'activité de la bande bêta qui s'apparente à bursts dans le Chapitre 3 – Faisabilité des beta bursts pour les BCI nous montrons que l'imagerie motrice est caractérisée par des beta bursts. Nous explorons de multiples façons de décrire cette activité en bursts, en montrant que le taux de bursts avec certaines formes d'onde (waveforms) constitue la meilleure représentation parmi toutes en termes de précision de classification et, surtout, qu'il est plus informatif que la puissance du signal dans une tâche de classification binaire de la MI. Nous proposons ensuite un algorithme efficace pour calculer le taux de bursts résolu par le waveform. Nous trouvons les waveforms des beta bursts dont le taux devrait être le plus modulé par une tâche de MI dans des données d'étalonnage. Nous utilisons ces waveforms pour filtrer l'activité cérébrale brute. Les signaux résultants peuvent puis être exploités par les paradigmes de traitement du signal et de classification standard. Par rapport à la puissance du signal ces caractéristiques augmentent la précision de la classification et le taux de transfert de l'information renforçant ainsi leur rôle potentiel pour les MI-BCI. Enfin nous abordons la question de la stabilité des waveforms entre les sessions d'enregistrement en nous concentrant sur l'impact du transfert des waveforms apprises lors de sessions d'enregistrement spécifiques sur les résultats de décodage d'autres sessions. Nous montrons que contrairement aux caractéristiques de puissance la précision de la classification est très peu affectée par l'utilisation des beta bursts dans l'apprentissage par transfert. En résumé, ces résultats prouvent les avantages de l'analyse des caractéristiques de l'activité transitoire et établissent la faisabilité des beta bursts pour les applications MI-BCI.

Mots-clés : electroencephalography (EEG),magnetoencephalography (MEG),Beta bursts,Motor Imagery (MI),Upper limb