

Table des matières

Préface	15
José DEL R. MILLÁN	
Introduction	17
Maureen CLERC, Laurent BOUGRAIN et Fabien LOTTE	
PREMIÈRE PARTIE. DOMAINES D'APPLICATION	27
Chapitre 1. Interfaces cerveau-ordinateur dans les troubles de la conscience	29
Jérémie MATTOU, Jacques LUAUTÉ, Julien JUNG et Dominique MORLET	
1.1. Les états de conscience altérée : étiologies et caractéristiques cliniques	30
1.1.1. Du coma à l'éveil de coma	30
1.1.2. L'enjeu du diagnostic différentiel	31
1.2. Evaluation fonctionnelle de patients en états de conscience altérée (paradigmes passifs)	32
1.2.1. Pronostic de sortie du coma	32
1.2.2. Patterns fonctionnels des états post-coma	34
1.3. Approches avancées pour une évaluation de la conscience (paradigmes actifs)	37
1.4. Vers une utilisation en temps-réel de mesures fonctionnelles	40
1.4.1. Approches temps-réel pour la communication	40
1.4.2. De l'intérêt des BCI dans les troubles de conscience, en dehors de l'objectif de communication	43
1.5. Conclusion et perspectives	43
1.6. Bibliographie	45

Chapitre 2. Applications médicales : neuroprothèses et neuroréadaptation 55

Laurent BOUGRAIN

- 2.1. Les déficiences motrices 56
 - 2.1.1. Les déficiences motrices d’origine cérébrale 56
 - 2.1.2. Les déficiences motrices d’origine neuromusculaire 56
 - 2.1.3. Les déficiences motrices d’origine neurodégénérative 57
 - 2.1.4. Les déficiences motrices d’origine médullaire 57
 - 2.1.5. Les déficiences motrices d’origine ostéo-articulaire 57
- 2.2. Compenser les déficiences motrices 58
 - 2.2.1. Les neuroprothèses 59
 - 2.2.2. La neuroréadaptation 61
- 2.3. Conclusion 64
- 2.4. Bibliographie 64

Chapitre 3. Applications médicales des BCI pour la communication des patients 67

François CABESTAING et Louis MAYAUD

- 3.1. Introduction 67
 - 3.1.1. Communication améliorée et alternative (CAA) 68
 - 3.1.2. Contrôle au niveau logique ou au niveau sémantique 69
 - 3.1.3. BCI dédiées à la CAA 70
 - 3.1.4. Estimation de la performance d’une BCI dédiée à la CAA 71
- 3.2. Interface réactive pour la communication 72
 - 3.2.1. Interfaces visuelles 72
 - 3.2.2. Stimulations auditives 76
- 3.3. Interface active pour la communication 76
 - 3.3.1. *Thought translation device* 78
 - 3.3.2. Interface BrainTree 80
- 3.4. Conclusion 81
- 3.5. Bibliographie 82

Chapitre 4. BrainTV : révéler en temps-réel les bases neurales de la cognition humaine 87

Jean-Philippe LACHAUX

- 4.1. Introduction et motivation 87
- 4.2. Vers une prise en compte des données à la première personne 88
- 4.3. Amener données subjectives et objectives dans un même espace : l’expérience consciente du sujet 90
- 4.4. Aspects techniques : l’apport des interfaces cerveau-ordinateur 92
- 4.5. Le système BrainTV et ses applications 96

4.5.1. Application de BrainTV à la recherche fondamentale	97
4.5.2. Applications cliniques de BrainTV	99
4.6. Limites de BrainTV	100
4.7. Extension à d'autres types d'enregistrements	101
4.8. Conclusion	102
4.9. Bibliographie	102

Chapitre 5. BCI et jeux vidéo : état de l'art à travers le projet OpenViBE2 105

Anatole LÉCUYER

5.1. Introduction	105
5.2. Prototypes de jeux vidéo contrôlés par une BCI	107
5.2.1. Jeux vidéo basés sur l'imagination de mouvement	108
5.2.2. Jeu vidéo basé sur le potentiel P300	109
5.2.3. Jeu vidéo basé sur le potentiel SSVEP	110
5.2.4. Jeu vidéo basé sur des tâches de concentration/relaxation	111
5.3. Prototypes industriels : des types de jeu potentiellement très différents	112
5.3.1. Jeu de divertissement classique ou <i>casual game</i>	112
5.3.2. Jeu d'entraînement cérébral ou <i>brain trainer</i>	113
5.3.3. Jeu sérieux ou <i>serious game</i>	114
5.4. Discussion	115
5.5. Conclusion	116
5.6. Bibliographie	117

DEUXIÈME PARTIE. ASPECTS PRATIQUES POUR LA MISE EN PLACE DE PLATEFORMES BCI 119

Chapitre 6. Expression du besoin des patients pour les interfaces cerveau-ordinateur 121

Louis MAYAUD, Salvador CABANILLES et Eric AZABOU

6.1. Introduction	121
6.1.1. Les populations de patients	122
6.1.2. Les interfaces existantes	124
6.2. Les types d'utilisateurs	125
6.2.1. Le besoin des patients	127
6.2.2. Les soignants	129
6.3. Traduction des besoins lors de l'utilisation des BCI	130
6.3.1. Les interfaces physiques de recueil de l'activité cérébrale	130
6.3.2. L'analyse de l'activité cérébrale	132
6.3.3. Les applications et interfaces utilisateurs	132

6.4. Conclusion	133
6.5. Bibliographie	135

Chapitre 7. Les capteurs : théorie et innovation 139

Jean-Michel BADIER, Thomas LONJARET et Pierre LELEUX

7.1. L'électrode d'EEG	140
7.1.1. Le modèle électrochimique de l'électrode	141
7.1.2. L'électrode en électrophysiologie	141
7.1.3. Caractérisation des électrodes	142
7.1.4. Matrices d'électrodes EEG et casques	143
7.2. Les enregistrements invasifs	144
7.2.1. Le besoin d'enregistrements invasifs	144
7.2.2. Electroencéphalographie, ECoG	144
7.2.3. Stéréo-électro-encéphalographie, SEEG	145
7.3. La nouvelle génération de capteurs	145
7.3.1. Utilisation de matériaux de substrat innovants	145
7.3.2. Matériaux de l'interface	147
7.3.3. Topographie de l'interface	148
7.3.4. Capteurs actifs	149
7.4. Magnéto-encéphalographie	152
7.4.1. Origine des signaux	152
7.4.2. Instrumentation	153
7.5. Conclusion	154
7.6. Bibliographie	155

Chapitre 8. Exigences techniques pour l'acquisition électro-encéphalographique de haute qualité 159

Emmanuel MABY

8.1. Electrodes	160
8.1.1. Electrodes passives	160
8.1.2. Electrodes actives	161
8.2. Montages	161
8.2.1. Montage monopolaire	161
8.2.2. Montage bipolaire	162
8.2.3. Electrode de masse	162
8.3. Amplificateurs	162
8.3.1. Gain	163
8.3.2. Amplificateur différentiel	164
8.4. Filtres analogiques	167
8.5. Conversion analogique-numérique	167
8.6. Synchronisation des événements avec l'EEG	170

8.6.1. Marquage <i>hardware</i> d'événements	170
8.6.2. Marquage logiciel d'événements	172
8.7. Conclusion	174
8.8. Bibliographie	175

Chapitre 9. Guide pratique pour réaliser une expérimentation

EEG	177
----------------------	------------

Emmanuel MABY

9.1. Planification de l'étude	177
9.1.1. Législation et éthique	177
9.1.2. Critères de sélection des sujets	178
9.1.3. Organisation de l'expérimentation	178
9.2. Matériel	179
9.2.1. Lieu d'enregistrement	179
9.2.2. Système de stimulation	182
9.2.3. Système d'acquisition	183
9.3. Procédure d'expérimentation	183
9.3.1. Recrutement des sujets	183
9.3.2. Le jour de l'expérimentation avant l'arrivée du sujet	184
9.3.3. A l'arrivée du sujet	184
9.3.4. Après l'expérience	188
9.4. Bibliographie	188

TROISIÈME PARTIE. GUIDE PAS-À-PAS POUR LA CONCEPTION DE BCI AVEC OPENViBE

191

Chapitre 10. OpenViBE et les outils logiciels pour les BCI

193

Jussi T. LINDGREN et Anatole LÉCUYER

10.1. Introduction	193
10.2. Utilisateurs des plateformes logicielles BCI	195
10.2.1. Installation	196
10.2.2. Entraînement	196
10.2.3. Contrôle d'une application	196
10.3. Etapes de traitement BCI	197
10.3.1. Acquisition des signaux	198
10.3.2. Traitement des signaux	198
10.3.3. Classification des signaux	199
10.3.4. Feedback	199
10.4. Modifier une BCI	199
10.5. Description des principales plateformes	202
10.5.1. OpenViBE	202

10.5.2. BCI2000	205
10.5.3. Plateformes basées sur Matlab	206
10.6. Choisir une plateforme logicielle BCI	207
10.7. Conclusion	209
10.8. Bibliographie	210

Chapitre 11. Illustration de phénomènes électrophysiologiques avec OpenViBE 211

Fabien LOTTE et Alison CELLARD

11.1. Visualisation des signaux EEG bruts et des artefacts	212
11.1.1. Visualisation des signaux EEG bruts	212
11.1.2. Visualisation d'artefacts EOG et EMG	213
11.2. Visualisation des oscillations alpha	213
11.3. Visualisation du rebond beta	215
11.4. Visualisation des SSVEP	217
11.5. Conclusion	219

Chapitre 12. Classification de signaux cérébraux avec OpenViBE 221

Laurent BOUGRAIN et Guillaume SERRIÈRE

12.1. Introduction	221
12.2. Discrimination	222
12.2.1. Algorithmes de discrimination	222
12.2.2. Stratégies de discrimination	224
12.2.3. Illustration de la reconnaissance d'imaginaires motrices	225
12.3. Evaluation	226
12.3.1. Indicateurs	226
12.3.2. Données de validation	230
12.3.3. Illustration de l'évaluation des performances	232
12.4. Conclusion	233
12.5. Bibliographie	234

Chapitre 13. Illustration OpenViBE d'un clavier virtuel P300 235

Nathanaël FOY, Théodore PAPADOPOULOU et Maureen CLERC

13.1. Classification des cibles/non-cibles	236
13.1.1. Le modèle de la moyenne	236
13.1.2. LDA et le problème du surapprentissage	238
13.1.3. Réduction de dimension par filtrage spatial xDAWN	240
13.2. Illustration d'un clavier virtuel P300	242
13.2.1. Détection d'ondes P300 avec OpenViBE	242

13.2.2. Mise en place d'un clavier virtuel P300	245
13.3. Bibliographie	247

Chapitre 14. Applications ludiques avec OpenViBE : *Brain Invaders et Use-the-Force!* 249

Anton ANDREEV, Alexandre BARACHANT, Fabien LOTTE
et Marco CONGEDO

14.1. <i>Brain Invaders</i>	249
14.1.1. Résultats	251
14.1.2. Résultats hors ligne : le mode entraînement-test « classique »	252
14.1.3. Résultats hors ligne : initialisation sur plusieurs sujets	252
14.1.4. Résultats hors ligne : initialisation sur plusieurs sessions	253
14.1.5. Résultats en ligne : adaptation	254
14.2. Mise en œuvre	255
14.2.1. Gestion des artefacts	256
14.2.2. <i>Brain Invaders</i> avec OpenViBE	257
14.2.3. Notes sur les problèmes techniques	258
14.3. <i>Use-The-Force!</i>	259
14.3.1. Le système BCI	259
14.3.2. Mise en œuvre avec OpenViBE	261
14.3.3. Conclusion sur <i>Use-The-Force!</i>	263
14.4. Conclusion	264
14.5. Bibliographie	264

QUATRIÈME PARTIE. ENJEUX SOCIÉTAUX ET PERSPECTIVES 267

Chapitre 15. Questions d'éthique dans les interfaces cerveau-ordinateur 269

Florent BOCQUELET, Gaëlle PIRET, Nicolas AUMONIER et Blaise YVERT

15.1. Introduction	270
15.2. L'animal	272
15.2.1. La lutte contre la douleur, la souffrance et l'angoisse chez l'animal	272
15.2.2. Réflexion sur la différence entre l'être humain et l'animal	273
15.2.3. L'animal n'est pas une chose	273
15.3. L'Homme	274
15.3.1. Gestion de l'espoir suscité	274
15.3.2. Balance bénéfices/risques	275
15.3.3. Consentement éclairé et implication du patient	276
15.3.4. Réparer <i>versus</i> remplacer	277

15.3.5. Accessibilité des BCI	278
15.3.6. Moduler l'activité cérébrale avec des BCI : quelles conséquences ?	278
15.3.7. Fiabilité et sûreté des BCI	279
15.3.8. Responsabilité lors de l'usage des BCI	280
15.4. L'espèce humaine	281
15.4.1. Les BCI, passerelles entre le réel et le virtuel	281
15.4.2. Les BCI, futurs moyens d'augmentation ?	282
15.4.3. Le risque du transhumanisme ?	283
15.4.4. Liberté et BCI	284
15.5. Conclusion	285
15.5.1. Un choix à faire	285
15.5.2. Besoin d'une vigilance éthique constante sur les BCI	286
15.6. Bibliographie	287

Chapitre 16. Acceptation des hybrides du cerveau-machine : quelle perception de leur cerveau *in vivo* ? 295

Bernard ANDRIEU

16.1. Le problème éthique	295
16.2. La méthode	296
16.3. Une éthique de l'expérimentation : Matthew Nagle, le premier patient	298
16.4. Le langage corporel dans la performance	300
16.5. Une éthique de la (re)socialisation autonome	302
16.5.1. Une éthique du corps vivant : le feedback sensoriel	304
16.6. Conclusion	307
16.7. Annexe (retranscriptions de verbatim vidéo)	307
16.8. Bibliographie	312

Chapitre 17. Conclusion et perspectives 315

Maureen CLERC, Laurent BOUGRAIN et Fabien LOTTE

17.1. Introduction	315
17.2. Renforcer les bases scientifiques des BCI	317
17.3. Rendre les BCI pratiques	320
17.4. Ouvrir les BCI vers d'autres domaines et applications	322
17.5. Se préoccuper des questions éthiques	324
17.6. Conclusion	324
17.7. Bibliographie	324

Index 329

Sommaire du volume 1 333