

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
جامعة سعد دحلب البليدة 1  
Université SAAD DAHLEB-Blida 1



Faculté des Sciences  
Département de physique

## Mémoire de fin d'études

POUR OBTENIR LE DIPLÔME DE  
MASTER EN PHYSIQUE

Domaine : Sciences De la Matière  
Option : Physique des Rayonnements

### THEME

**Diagnostic et prétraitement numérique de  
signaux EEG codés de l'épilepsie par Matlab.**

Présenté par :  
OUFFROUKH Soundous Yousra

Soutenu le : 21/10/2024

Devant le jury :

Nom

Mme BOUKHALFA.S

Mme BAHLOUL. H

Mr BOUNEMRI Amar

Qualité

Président

Reportrice

Examinateur

## Résumé :

Cette étude est destinée à apporter une contribution au diagnostic de la maladie d'épilepsie ; notamment la zone épileptogène ; par exploration des signaux EEG numérisés par de nouvelle technologie. Ensuite nous avons intégré un prétraitement de ces signaux EEG codés en langage MATLAB afin de diagnostiquer le type du rythme cérébral pour les différents cas d'épilepsie étudiés.

**Mots clés :** SEEG, Rythme cérébraux, diagnostic, prétraitement, Matlab.

## Abstract :

This study is intended to make a contribution to the diagnosis of epilepsy disease. In particular the epileptogenic zone; by exploring an EEG signals digitized by a new technology digital device. Then we integrated a processing of these EEG signals coded in MATLAB language in order to diagnose the type of brain rhythm for the different cases of epilepsy studied.

**Keys words:** SEEG, Brain rhythms, diagnosis, Matlab, preprocessing.

## ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى المساهمة في تشخيص مرض الصرع على وجه الخصوص المنطقة الصرعية من خلال استكشاف إشارات التخطيط الكهربائي للدماغ (EEG) بواسطة جهاز رقمي عن طريق تقنية جديدة. ثم قمنا بدمج معالجة مسبقة لإشارات التخطيط الكهربائي للدماغ SEEG انمشفرة بلغة البرمجة MATLAB من أجل تشخيص نوع إيقاع الدماغ لحالات الصرع المختلفة التي تمت دراستها.

**الكلمات المفتاحية:** إشارات التخطيط الكهربائي للدماغ SEEG، إيقاعات

الدماغ، التشخيص، معالجة ماتالب

## Remerciements

*Avant tout, je remercie notre dieu qui m'a éclairé mon chemin et qui m'a donné la force pour réaliser ce travail.*

*Je tiens à exprimer ma gratitude à ma promotrice Madame*

*« BAHLOUL Hassiba » qui a accepté de suivre et d'évaluer ce travail. Je tiens à lui assurer l'expression de mon profond respect et le remercier d'avoir participé à ce moment particulièrement important pour moi, sans oublier l'enseignant Monsieur « GOUGAM Fouzi »*

*Je tiens aussi à remercier « D<sup>R</sup>. OUAHBI », médecin spécialiste en pedo-neurologie à l'Hôpital de pédiatrie ALBIAR.*

*Nous remercions également à tous les enseignants qui ont participé à ma formation et aux membres du jury qui ont accepté de valider ce travail.*

*Enfin, nos sincères remerciements à tous nos camarades de la promotion Master physique des rayonnements et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin dans la réalisation de ce travail.*

**SOUNDOUS**





## DEDICACE

*Je dédie ce mémoire au premier homme de ma vie « Mon grand-père BELHAOUARI Mustapha », paix à son âme.*

*A la première et la plus belle physicienne que j'ai connue, ma tante « BELHAOUARI Rachida » et son mari « Didou M'hamed ».*

*A la plus belle femme dans ma vie « Maman Fatima » (LAGHOUEG Zoubida).*

*A mes petits anges et mes petites princesses « Hiba et Aya ».*

*A M<sup>me</sup> BAHLOUL ma belle promotrice.*

*A tous mes amis, en particulier: Hana, Mounia, Haffsa et Abdessalam.*

*Et surtout à mes amis du club scientifique IBTIKAR: « HAMADOU Abdraouf », « HAIL Amine ».*

*A tous les gens qui me connaissent et qui m'aiment.*

**SOUNDOUS**



# Liste des Figures

<i>Figure 1. Méthodes électrophysiologiques non invasives ((a) Courtoisie du CHU-Nancy, [Fondation-Louis-Jeantet, 2009])</i> .....	9
<i>Figure 2. Méthodes électrophysiologiques invasives ((a) Courtoisie du CHU-Nancy, (b) [di neurofisiopatologia, 2009])</i> .....	10
<i>Figure 3. Schéma comparatif des résolutions spatiales et temporelles et du caractère in-vasif des différents méthodes d'exploration de l'activité cérébrale ([Churchland et Sejnowski, 1988])</i> .....	11
<i>Figure 4. Le système 10-20 de la Fédération Internationale de Neurophysiologie Clinique [Malmivu et Plonse, 1995]</i> .....	12
<i>Figure 5. Quatre des principaux rythmes du cerveau observés en EEG [Mueller, 2009]</i> .....	14
<i>Figure 6. Différents types de traitement pour l'épilepsie ((a) [Alliance-Canadienne-de- l'épilepsie, 2009] (b) [e-community, 2009])</i> .....	23
<i>Figure 7. Représentation schématique des divisions de l'encéphale ( de [Amicus- Visual- Solutions, 2009])</i> .....	27
<i>Figure 8. Schéma d'un neurone et ses principales parties (inspirée de [Eating- Disorder- Institute, 2009])</i> .....	28
<i>Figure 9. Représentation d'une cellule pyramidale et de ses champs de potentiels électrique. Les iso- potentielles sont représentées par les lignes en pointillés. Les lignes pleines, qui sont perpendiculaires aux lignes de potentiels, indiquent un courant ex- tracellulaire produit par cette différence de potentiels [Adam et al., 2000]</i> .....	29
<i>Figure 10. Electrode Tampon</i> .....	34
<i>Figure 11. Electrode a pince</i> .....	34
<i>Figure 12. Casque EEG</i> .....	35
<i>Figure 13. EEG numérique</i> .....	35
<i>Figure 14. Photos prise lors la stimulation lumineuse intermittente d'une patiente qui souffre des crises d'absence</i> .....	38
<i>Figure 15. EEG de marque « NIHON KOHDEN »</i> .....	40
<i>Figure 16.: Tracé d'un EEG type « Absence »</i> .....	41
<i>Figure 17. Tracé d'un EEG type « Absence myoclonique »</i> .....	42

**Figure 20: Histogramme des valeurs de Voltage obtenue en fonction des valeur**

<b>logique</b>	<b>1et</b>
<b>0.....</b>	<b>57</b>
<b>Figure 18 : résultats d'analyse fréquentiel groupe <math>m_6</math>.....</b>	<b>58</b>
<b>Figure 19 : résultats d'analyse fréquentiel groupe <math>m_1</math>.....</b>	<b>59</b>
<b>Figure 20 : résultats d'analyse fréquentiel groupe <math>m_4</math>.....</b>	<b>59</b>
<b>Figure 21: résultats d'analyse fréquentiel groupe <math>m_5</math>.....</b>	<b>60</b>
<b>Figure 22: résultats d'analyse fréquentiel groupe <math>m_4</math>.....</b>	<b>60</b>
<b>Figure 23: résultats d'analyse fréquentiel groupe <math>m_2</math>.....</b>	<b>61</b>

# Liste des Tableaux

<b>Tableau 1. Enregistrement des SEEG des 9 premiers cas.....</b>	<b>45</b>
<b>Tableau 2. Enregistrement des SEEG de la deuxième liste des patients.....</b>	<b>45</b>
<b>Tableau 3. Enregistrement des SEEG du troisième listes de patient .....</b>	<b>46</b>
<b>Tableau 4. Exploitation du tableau 1 dans Matlab .....</b>	<b>47</b>
<b>Tableau 5. Exploitation du tableau 2 dans Matlab .....</b>	<b>48</b>
<b>Tableau 6. Exploitation du Tableau 3 dans Matlab.....</b>	<b>48</b>
<b>Tableau 7 : Résultats après traitement du groupe 1.....</b>	<b>52</b>
<b>Tableau 8 : Résultats après traitement du groupe 2.....</b>	<b>53</b>
<b>Tableau 9 : Résultats après traitement du groupe 3.....</b>	<b>54</b>
<b>Tableau 10 : Résultats après traitement du groupe 4.....</b>	<b>55</b>

# Liste des abréviations

*CHU : Centre Hospitalier Universitaire*

*EEG : Electroencéphalogramme*

*EcoG : Electrocorticographie*

*SEEG : Signaux Electroencéphalogramme*

*IRM : : Imagerie par Résonance Magnétique*

*SNV : Stimulation du Nerf Vague*



# Table des matières

Remerciements.....	I
DEDICACE .....	II
Liste des Figures.....	III
Liste des Tableaux.....	V
Liste des abreviations.....	VI
Table des matières .....	VII
INTRODUCTION GENERALE.....	1
Chapitre I: Etat de l'Art .....	3
<b>I.1 Introduction .....</b>	<b>4</b>
<b>I.2 Diagnostic: modalités d'exploration cérébrale .....</b>	<b>4</b>
I.2.1 L'imagerie médicale.....	4
I.2.2 Donnés électro-physiologiques .....	7
I.2.3 Conclusion sur les modalités d'exploration cérébrale.....	10
<b>I.3 La mesure des SEEG .....</b>	<b>10</b>
.1 Le système 10-20.....	11
I.3.2 Les montages .....	12
I.3.3 Les activités rythmiques cérébrales.....	14

I.3.4 Les perturbations.....	15
<b>I.4 Travaux de recherche portant sur le diagnostic et traitement de la maladie d'épilepsie.....</b>	<b>16</b>
<b>I.5 Quelques travaux de recherches et rapport des CHU internationaux .....</b>	<b>17</b>
<b>I.6 Visualisation de la connectivité fonctionnelle cérébrale .....</b>	<b>21</b>
<b>I.7 Traitements de l'épilepsie .....</b>	<b>21</b>
I.7.1 Pharmacologique .....	21
I.7.2 Chirurgie.....	21
I.7.3 Stimulation du nerf vague .....	22
I.7.4 Le gamma knife .....	22
<b>I.8 Problématique.....</b>	<b>23</b>
<b>I.9 Conclusion.....</b>	<b>23</b>
Chapitre II: Anatomie et physiologie du cerveau: Cas de la maladie d'épilepsie .....	25
<b>II.1 Introduction .....</b>	<b>26</b>
<b>II.2. Anatomie et physiologie du cerveau .....</b>	<b>26</b>
II.2.1 Le cerveau.....	26
II.2.1 Le neurone .....	27
II.2.2 L'activité électrique du cerveau.....	27
<b>II.3 L'épilepsie.....</b>	<b>28</b>
II.3.1 Étiologie .....	29
II.3.2 Classification des crises .....	30
<b>II.4 Crises non classées.....</b>	<b>31</b>
<b>II.5 Conclusion .....</b>	<b>31</b>
Chapitre III: Etude expérimentale: Diagnostic par Électroencéphalographie 'EEG' pour	VIII

l'exploration cérébrale de zone Epilptogene .....	32
<b>III .1 Introduction</b> .....	<b>33</b>
<b>III.2 Principe de l'électroencéphalographie (EEG)</b> .....	<b>33</b>
<b>III.3 Matériels et méthodes d'enregistrement d'un EEG</b> .....	<b>33</b>
III.3.1 Matériels.....	33
<b>III.4 Méthodes d'enregistrement de l'EEG</b> .....	<b>35</b>
III.4.1 Positionnement des électrodes .....	35
III.4.2 Le principe des montages .....	36
<b>III.5 Technique d'enregistrement d'un EEG</b> .....	<b>37</b>
III.5.1 Les conditions techniques pour réaliser un EEG.....	37
III.5.2 Le protocole d'un EEG standard de veille.....	37
III.5.3 Les épreuves d'activation .....	37
<b>III.6 Les résultats EEG</b> .....	<b>38</b>
III.6.1 Les activités EEG physiologiques ou normales.....	38
III.6.2 Les activités EEG pathologiques .....	39
<b>III.7 Etude expérimentale de l'Application de la méthode SEEG</b> .....	<b>40</b>
<b>III.8 Les résultats EEG</b> .....	<b>40</b>
<b>Conclusion</b> .....	<b>42</b>
Chapitre VI: Analyse et prétraitement par MATLAB des résultats de SEEG réels pour différents cas d'épilepsie.....	43
<b>IV.1 Introduction</b> .....	<b>44</b>
<b>IV.2 Dépouillements des résultats SEEGS (format Excel)</b> .....	<b>44</b>
<b>IV.3 Analyse et prétraitement des SEEG codes par Logiciel Matlab</b> .....	<b>46</b>
<b>Conclusion</b> .....	<b>58</b>

<b>Conclusion général .....</b>	<b>59</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>63</b>

# **INTRODUCTION GENERALE**

# Introduction

---

## Introduction générale

Les crises d'épilepsie sont la manifestation d'une activité cérébrale excessive résultant d'une « hyperexcitation » des cellules nerveuses-les neurones du cortex cérébral et de leur synchronisation.

On distingue les épilepsies généralisées, touchant environ 1/3 des patients, lorsque tous les neurones du cortex sont d'emblée recrutés et les épilepsies focales qui débutent dans une région spécifique du cerveau [Revue de l'Institut du Cerveau Mondial(ICM)].

Le diagnostic de cette maladie repose sur des symptômes cliniques rapportés par le patient et ses proches, lors des crises épileptiques et sur l'analyse d'un électro-encéphalogramme (EEG) c'est-à-dire un enregistrement de l'activité électrique des neurones cérébraux. L'IRM cérébrale permet également de rechercher une lésion du cortex.

Aujourd'hui les traitements médicamenteux sont efficaces pour plus de 2/3 des patients ; 30% des patients sont néanmoins pharmaco-résistants. Une intervention chirurgicale doit être envisagée ces patients, car quand le foyer générateur des crises peut être identifié et opéré, les patients peuvent ne plus faire aucune crise.

Nous allons effectuer un travail qui rentre dans le cadre de la préparation de notre mémoire de fin d'études Master qui consiste à l'étude de prétraitement des signaux EEG codés en langage Matlab est intégrés afin diagnostiquer et calculer la différence du potentiel DDP de la zone épilptogène et enfin quantifier son énergie pour le choix l'énergie du prototype photo-électrique à utiliser expérimentalement pour procéder au traitement de l'épilepsie.

Notre mémoire s'articule sur quatre chapitres suivants:

Le chapitre présente est l'état de l'art qui comprend un bilan des origines de l'épilepsie et de son impact social ; où nous aborderons les différentes modalités de mesure appliquées pour l'aide au diagnostic ainsi que les méthodes de traitement. Enfin nous ferons une synthèse des travaux de recherche relatifs à notre application afin de positionner et mettre en évidence l'objectif de notre travail.

Des notions et généralités sur l'anatomie et la physiologie de cerveau ainsi que la description de la maladie d'épilepsie sera illustrée dans le deuxième chapitre.

Le troisième chapitre sera consacré à la description de la technique de diagnostic et

## Introduction

---

analyse de la maladie d'épilepsie .

Dans le quatrième chapitre, nous introduisant et analysants différents cas de maladies d'épilepsie qui permettent de synthétiser et de quantifier l'information fournie par la méthode de prétraitement des signaux EEG codés en langage Matlab intégrés.

Nous terminons enfin par une conclusion générale.

# **Chapitre I: Etat de l'Art**



### **I.1 Introduction:**

La maladie d'épilepsie est une maladie chronique qui touche environ cinq million de personnes chaque année de la population mondiale, dont 5% sont susceptibles de faire une crise un jour et qui représente la première raison de consultation neurologique après la migraine [Fédération pour la recherche sur le cerveau].

Ce chapitre est consacré à faire un bilan des origines de l'épilepsie et de son impact social. Dans le contexte qui nous préoccupe, particulièrement l'épilepsie, nous aborderons les différentes modalités de mesure appliquées pour l'aide au diagnostic ainsi que, brièvement les méthodes de traitement qui a connu un développement technologique assez conséquent ces dernières années. Enfin nous ferons une synthèse des travaux de recherche relatifs à notre application afin de positionner ce travail.

### **I.2 Diagnostic: modalités d'exploration cérébrale:**

Concernant les patients candidats à une chirurgie, ils sont soumis à un bilan pré-chirurgical qui associe des investigations neurologiques, électro cliniques et neuropsychologiques. Les données sont recueillies par des examens électro physiologiques (enregistrements d'EEG) et d'imagerie cérébrale (IRM morphologique et fonctionnelle, TEP, TEMP). La première étape consiste { l'enregistrement d'un EEG de surface et/ou un examen d'imagerie. Si en dépit de ces examens il n'y a pas une lésion apparente ou évidente et la ZE n'est pas toujours localisée, la deuxième étape concerne l'exploration chirurgicale. La mise en place d'électrodes profondes, soit en forme de plaques portant des électrodes disposées à la surface du cortex (électro-corticogramme (ECoG) soit par des électrodes intracérébrales implantées (stéréoencéphalographie, SEEG), devient la procédure pour la recherche de la ZE. Ce bilan est long, lourd et coûteux, mais il est, pour certains cas, nécessaire pour localiser la zone et le volume épiléptogène responsable des crises.

#### **I.2.1 L'imagerie médicale:**

L'imagerie médicale est l'ensemble des techniques permettant de visualiser, de façon non invasive, des processus biologiques sur des organismes vivants. Les données récoltées sont utilisées pour le diagnostic et le traitement de pathologies. Les techniques d'imagerie peuvent être de deux types: fonctionnelles et structurelles. Les techniqu

d'imagerie structurelle fournissent des images du cerveau en mettant en évidence la distribution de substance grise (corps cellulaires) et blanche (axones). La plus utilisée de ces techniques est l'imagerie par résonance magnétique (IRM). Quant aux techniques d'imagerie fonctionnelle, elles fournissent des images de l'activité cérébrale { un mo- ment

précis en identifiant des zones fonctionnelles actives. Ces modalités ne fournissent pas le même type d'information. Des exemples de ces techniques sont la tomographie par émission de positrons (TEP) et l'IRM fonctionnelle (IRMf).

L'imagerie médicale donne donc un accès fiable et immédiat à des informations structurelles et fonctionnelles profondes pour aider les cliniciens à établir le diagnostic de maladies. Elle constitue donc un outil d'investigation de choix de plusieurs champs de la médecine et de la biologie.

Quant au diagnostic de l'épilepsie, l'objectif des images cérébrales est d'établir la topographie de la ZE. L'exploration morphologique précise la localisation anatomique de la ZE alors que l'exploration fonctionnelle cherche principalement à déterminer la topographie des événements paroxystiques inter-critiques, ou encore d'autres anomalies fonctionnelles potentiellement liées { l'épilepsie.

- **L'imagerie par résonance magnétique (IRM):**

L'IRM (et l'IRMf) repose sur l'analyse du comportement des protons des noyaux d'hydrogène, qui est la substance la plus abondante dans le corps humain. L'obtention du signal IRM s'effectue en trois phases. La première étape consiste { aligner les protons sur l'axe d'un champ magnétique externe. Une fois que les protons ne se déplacent plus, ils continuent de tourner sur eux-mêmes à une fréquence connue. Si une onde de radiofréquence (RF) { la même fréquence est appliquée, ils s'inclinent légèrement en absorbant l'énergie de l'onde (état de résonance). Quand on interrompt l'onde de RF, les protons se réorientent (état de relaxation) et donc renvoient une onde radio qu'on peut détecter grâce à des antennes. Les caractéristiques temporelles de cette relaxation dépendent de la composition des tissus. Le signal est recueilli par une antenne et converti après en image.

L'IRMf, qui a une résolution temporelle faible, ne donne pas accès { la résolution temporelle des processus électro physiologiques cérébraux (normaux ou pathologiques) qui s'enchaînent { l'échelle de quelques dizaines de millisecondes.

- **La tomographie par émission de positons (TEP):**

La TEP (*Positron Emission Tomographie*, PET ou PET scan) est une technique semi-invasive consistant à administrer par

Voie intraveineuse un isotope radioactif ou traceur (non toxique) afin de suivre, par détection externe, le fonctionnement (normal ou pathologique) d'un organe. Le traceur se fixe sur les tissus et émet temporairement des rayonnements suivis par une caméra sensible aux rayonnements. Les valeurs recueillies sont analysées et transformées afin de permettre la reconstruction d'une image représentant la position du traceur dans l'organisme.

La TEP est exploitée pour des études physiologiques et physiopathologiques de la cognition et du comportement, ainsi que pour l'étude de différentes pathologies affectant le SNC telles que l'épilepsie, l'ischémie cérébrale, le cancer, les accidents vasculaires cérébraux, les maladies neurodégénératives (Parkinson, Huntington, . . .). Dans le cas de l'épilepsie, elle est employée pour mettre en évidence les zones d'hypométabolisme en relation avec la ZE.

- **La tomographie d'émission monophotonique (TEMP):**

Cette technique, aussi connue comme SPECT, (*Single Photon Emission Computed Tomography*), utilise une gamma caméra qui fait une rotation coaxiale autour du patient. La reconstruction des images obtenues par cette caméra utilise des méthodes similaires { celles des autres modalités d'imagerie tomographique.

La TEP et la TEMP, participent au bilan pré-chirurgical des patients souffrant d'une épilepsie partielle pharmaco-résistante [Semah, 2007; Panigrahi et Jayalakshmi, 2008]. Ces deux techniques sont complémentaires de l'IRM. En effet, la TEP permet de simplifier l'évaluation préchirurgicale des patients, en facilitant la latéralisation, particulièrement dans le cas des épilepsies du lobe temporal. Elle permet également de faciliter la localisation de la ZE, de fournir des informations relatives au réseau épilptogène, de visualiser des lésions qui éventuellement passent inaperçues sur l'IRM et d'évaluer les répercussions fonctionnelles des interventions chirurgicales.

La TEMP a été utilisée dans la localisation de la ZE et l'étude de la dynamique des crises. Une étude a montré que la TEMP pendant une période inter-critique n'a pas beaucoup d'intérêt { moins qu'elle soit complétée par une autre étude. En revanche, pendant la période critique l'intérêt d'utiliser la TEMP est de mettre en évidence et localiser la zone d'hyperperfusion liée à la crise [Sturm *et al.*, 2000].

### **1.2.2 Données électro-physiologiques:**

De façon générale, les techniques d'imagerie apportent des informations structurelles insuffisantes par rapport aux échelles des processus étudiés. Les grandeurs électrophysiologiques fournissent des données directement liées { l'activité électrique cérébrale. Malgré les grands développements technologiques de l'imagerie médicale, l'électrophysiologie garde encore une place importante pour la localisation de la ZE et la compréhension du déroulement de la propagation des crises.

#### **1.2.2.1 Méthodes non invasives:**

- **L'électroencéphalographie (EEG):**

Cette technique est la méthode de référence et la plus ancienne concernant l'enregistrement de l'activité électrique du cerveau. Pour ce faire, des électrodes sont positionnées sur le cuir chevelu (électrodes de surface) sur des zones bien définies du crâne.

Les électrodes transmettent les signaux électriques à un appareil où ils sont amplifiés et affichés sous forme de courbes. Ces courbes, représentatives de leurs évolutions, constituent l'électroencéphalogramme (EEG). C'est un examen indolore et non-invasif. Le signal électrique enregistré est la résultante de la somme des potentiels d'action post-synaptiques synchrones issus d'un grand nombre de neurones d'une certaine région. Une étude plus détaillée de cette technique sera présentée dans la section suivante.

Pour étudier les crises d'épilepsie, l'EEG peut être couplé { des enregistrements vidéo. En effet, il est très courant que l'épilepsie provoque des mouvements non coordonnés du corps. Ces mouvements sont en relation avec le dysfonctionnement électrophysiologique cérébral du patient et doivent être intégrés lors du diagnostic de l'épilepsie [Li *et al.*, 2002]. La vidéo-EEG est l'enregistrement simultané et synchronisé de l'EEG et du comportement du patient (Figure 1.6(a)). Grâce { son utilisation, l'étude du mouvement des patients avant, au moment et après une crise ou même dans la détection d'autres événements, comme crises additionnelles, a trouvé une place significative dans l'élaboration du diagnostic.

- **La magnétoencéphalographie (MEG):**

Cette technique consiste en la mesure des faibles variations dans les champs magnétiques produits par l'activité du SN et détectés par des capteurs positionnés { proximité de la tête (Figure 1.6(b)). Ces champs magnétiques sont le produit des changements du potentiel d'action de la membrane cellulaire aux moment de l'échange d'information. Par rapport { l'EEG, qui exploite les mêmes sources électriques, les avantages de la MEG sont nombreux. Son échantillonnage spatial est meilleur

grâce à son nombre de capteurs pouvant atteindre 300. La distorsion minimale spatiale des signaux qui traversent les structures anatomiques sans déformation permet une reconstruction plus focale et plus réaliste de leur origine corticale. La résolution temporelle est accrue et donne un meilleur accès aux signaux de synchronie de haute fréquence. Enfin, la MEG (comme l'EEG) n'a pas besoin ni d'exposition des rayons X, ni l'utilisation des produits radioactifs ou de contraste.

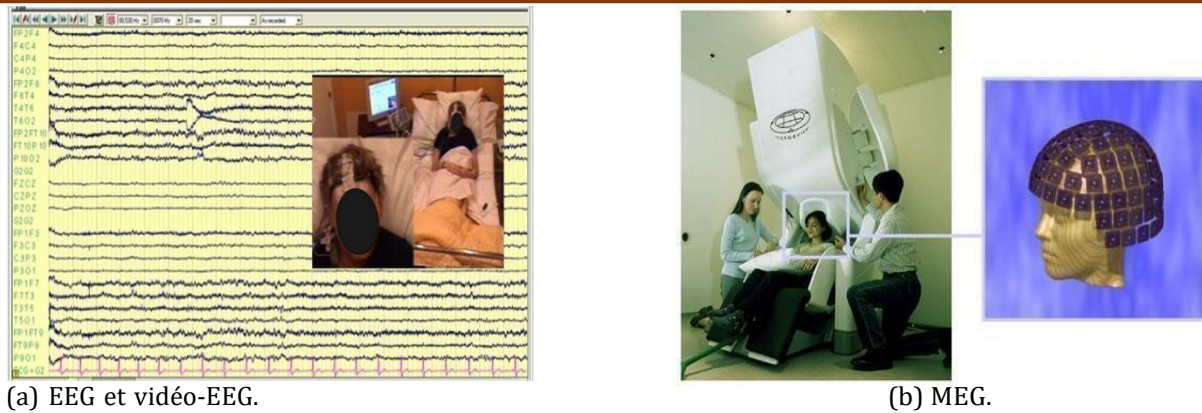
Cependant, elle est confrontée à deux problèmes. Premièrement, le champ magnétique provenant d'une colonne de quelques milliers de neurones du cortex cérébral est de l'ordre de  $1 \times 10^{-13}$  Tesla. L'enregistrement d'un champ magnétique aussi insignifiant est possible grâce à l'utilisation des capteurs très sensibles aux variations magnétiques, les SQUIDS (super quantum interference devices). Ces capteurs doivent être plongés dans de l'hélium liquide (-269 °C). Deuxièmement, en raison de la faible intensité des champs magnétiques cérébraux et de leur intensité qui va en décroissant avec l'éloignement de la source, ceux-ci doivent être isolés des champs magnétiques externes. En conséquence, une chambre métallique, l'équivalent magnétique de la cage de Faraday, et un système électronique mesurant et soustrayant le bruit magnétique environnant doivent être également implémentés. En raison de sa complexité technologique alliant cette chambre blindée et conducteurs à basse température, gourmande en hélium liquide, la MEG est coûteuse.

Concernant les applications de la MEG en neurologie, notamment pour le cas de l'épilepsie, elle fournit des informations essentielles sur la localisation et la propagation des crises. Cependant, sa capacité à détecter certains types de signaux provenant de sources profondes ou orientés perpendiculairement à la surface du scalp est très limitée. La MEG a été également appliquée dans la recherche en neurosciences cognitives. Cette technique permet également l'étude de maladies développementales (dyslexie), psychiatriques (schizophrénie) et neurodégénératives (Parkinson, Alzheimer).

### **1.2.2.2 Méthodes invasives:**

- **Stéréo-électroencéphalographie (SEEG):**

Cette méthode permet d'enregistrer l'activité électro-physiologique intracrânienne avec une très bonne résolution spatiale de l'ordre de 2 mm dans l'axe de l'électrode [Bancaud *et al.*, 1973; Talairach *et al.*, 1974]. Évidemment, ces électrodes doivent être insérées chirurgicalement (Figure 1.7(a)).



(a) EEG et vidéo-EEG.

(b) MEG.

**Figure 1. Méthodes électrophysiologiques non invasives ((a) Courtoisie du CHU-Nancy, [Fondation-Louis-Jeantet, 2009]).**

Si la méthode offre une résolution temporelle { l'échelle des processus étudiés et une très bonne résolution spatiale partielle, elle reste invasive et donc traumatisante et coûteuse. L'intérêt principal d'utiliser la SEEG est de recueillir l'activité électrique du cerveau directement au contact des neurones. Les enregistrements de SEEG mesurent donc l'activité épileptique d'une façon focale bien que les signaux présentent des intensités très faibles. Son grand avantage est qu'elle fournit des signaux non ou peu perturbés par le bruit [Adam *et al.*, 2000].

- **L'électro-corticographie (ECoG):**

Cette technique emploie une grille d'électrodes placée directement sur la surface externe du cerveau afin de recueillir l'activité électrique du cortex cérébral (Figure 1.7(b)). Puisqu'une incision chirurgicale dans le crâne (craniotomie) est exigée pour implanter la grille d'électrodes, l'ECoG est considérée comme une procédure invasive.

Les signaux électriques enregistrés sur la surface passent d'autres couches supplémentaires comme le crâne et le cuir chevelu. La faible conductivité de l'os de la boîte crânienne fait subir aux signaux recueillis une atténuation significative. Pour cette raison, la résolution spatiale de surface corticale de l'ECoG est meilleure que celle d'un EEG de surface: un avantage remarquable dans la planification préchirurgicale. L'ECoG, comme les autres méthodes électrophysiologiques, offre une très bonne résolution temporelle avec une résolution spatiale d'environ 1 cm [Asano *et al.*, 2005].

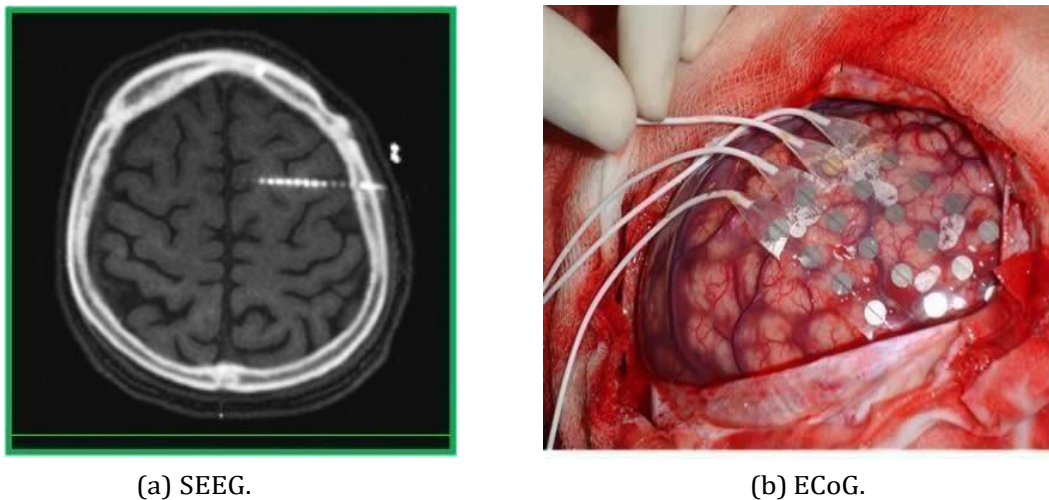


Figure 2. Méthodes électrophysiologiques invasives ((a) Courtoisie du CHU-Nancy, (b) [di neurofisiopatologia, 2009]).

### I.2.3 Conclusion sur les modalités d'exploration cérébrale:

En conclusion, on peut remarquer que chaque méthode a sa propre résolution spatiale et temporelle. La Figure 3 [Churchland et Sejnowski, 1988] fait une comparaison de quelques méthodes d'exploration cérébrale. On concentrera au cours de ce travail notre attention sur l'EEG de surface, méthode autour de laquelle ces travaux se sont développés. Cette méthode apporte une excellente résolution temporelle (de l'ordre de la milliseconde) cependant sa résolution spatiale reste inférieure à celle des méthodes d'imagerie. Malgré cet inconvénient, cet examen est incontournable pour le diagnostic et la classification des épilepsies étant donné qu'il permet d'enregistrer des informations en temps réel et d'une manière directe l'activité électrique du cerveau.

### I.3 La mesure des SEEG :

Le psychiatre allemand Hans Berger, reconnu comme le "père de la électroencéphalographie", a été le premier à découvrir l'existence de signaux d'EEG chez l'homme. En 1929, en utilisant un montage bipolaire monovoie, il a reporté les premiers enregistrements d'EEG humain pour une durée de 1 à 3 minutes [Berger, 1929]. Ce rapport incluait le rythme alpha comme la composante principale de l'EEG. Plus tard, il a également trouvé une certaine corrélation entre les activités cérébrales et des changements dans les signaux d'EEG.

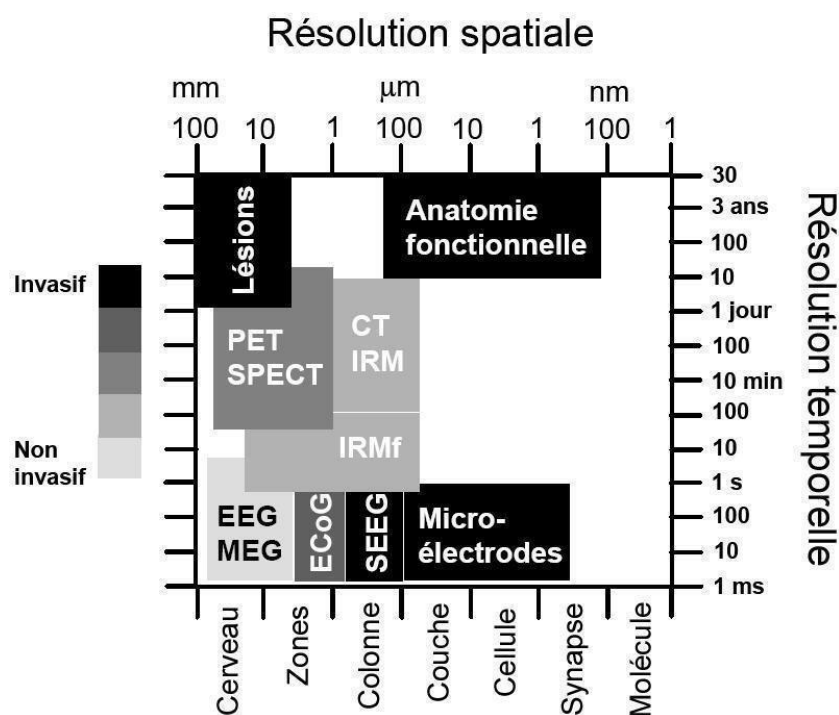


Figure 3. Schéma comparatif des résolutions spatiales et temporelles et du caractère in-vasif des différentes méthodes

*1.3 d'exploration de l'activité cérébrale ([Churchland et Sejnowski, 1988]).*

## .1 Le système 10-20:

L'emplacement d'électrodes le plus courant utilisé en EEG a été standardisé par une nomenclature internationale: le système 10-20 [Jasper, 1958]. Cette technique est basée sur des repères anatomiques: le nasion, l'inion et les repères pré-auriculaires droit et gauche. La première mesure est faite sur le plan antéro-postérieur: la distance nasion est prise et divisée en cinq segments. Le premier repère est placé à 10% de la distance totale à partir du nasion et est appelé Fp (frontopolaire). Les repères suivants sont placés à 20% de la distance totale et appelés F, C, P et O. Ces appellations représentent respectivement les régions cérébrales frontale, centrale, pariétale et occipitale. Une méthode similaire est utilisée pour définir les emplacements dans le plan transversal. Pour distinguer les électrodes, des chiffres sont utilisées: paires pour l'hémisphère droit et impaires pour le gauche (voir Figure 4).

Le développement des meilleures technologies d'enregistrement ainsi que l'amélioration des électrodes ont permis que ce montage classique puisse être augmenté avec des électrodes supplémentaires placées dans des positions intermédiaires. Aujourd'hui, il est possible d'enregistrer 64, 128 et jusqu'au 256 voies. En tel cas, on parle d'EEG { haute résolution (EEG-HR).



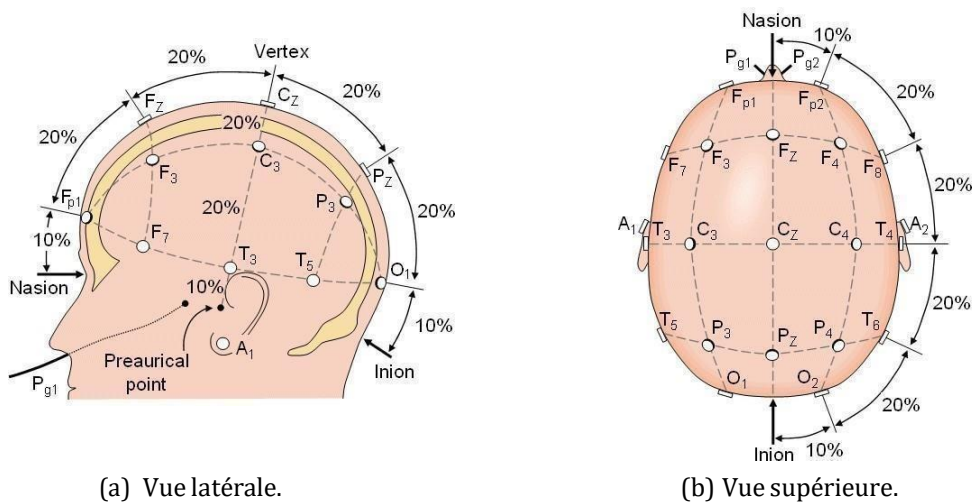


Figure 4. Le système 10-20 de la Fédération Internationale de Neurophysiologie Clinique [Malmivu et Plonse, 1995].

### I.3.2 Les montages:

Les enregistrements multivoies (multicanaux) sont utilisés pour déterminer la distribution des changements de potentiels sur le scalp. Lors des enregistrements, les signaux recueillis sont mesurés par rapport à une référence commune choisie: l'électrode de référence. Selon plusieurs auteurs, il est impossible de trouver une référence de potentiels céphalique qui soit complètement nulle [Dien, 1998; Fisch, 1999; Yao, 2001; Hu *et al.*, 2007]. Pour pallier à ce problème, mais également pour faciliter l'interprétation du clinicien et/ou appliquer des méthodes de traitement du signal (filtrage, estimation de synchronicité, . . .), plusieurs combinaisons de montages sont possibles. On peut distinguer 4 types de montages: le montage en référence commune, en référence moyenne, bipolaire, en référence moyenne pondérée ou Lapacien [Fisch, 1999].

- **Montage en référence commune:**

Dans ce montage, toutes les dérivations prennent une même électrode comme référence. Cette électrode est théoriquement placée à une distance considérable de la source d'intérêt. S'il est entendu que cette référence n'est pas nulle, elle doit donc mesurer un signal le plus indépendant possible des activités cérébrales. On peut distinguer deux catégories: les références céphaliques (*e.g.* référence auriculaire) ou non-céphaliques (*e.g.* référence cou-poitrine).

Une référence céphalique présente l'inconvénient d'être contaminée par d'autres potentiels cérébraux ainsi que par des sources d'artefacts oculaires, musculaires. Si un signal d'amplitude élevée est enregistré par l'électrode de référence, par le biais du montage

référence commune, il se répercute alors sur tous les canaux. Ceci peut représenter un inconvénient si l'activité en question est un artefact [Binnie *et al.*, 2003].

Quant à la référence cou-poitrine, elle diminue les risques de contamination cérébrale étant donnée sa position, cependant elle est couramment contaminée par l'ECG ou les mouvements musculaires. Ces derniers ont, en général, une amplitude très importante par rapport aux signaux cérébraux.

- **Montage en référence moyenne:**

Malgré la non existence d'une référence totalement nulle, il est possible d'envisager une référence "virtuelle" inactive. Ce montage prend comme référence la moyenne de l'ensemble des potentiels mesurés [Goldman, 1950; Offner, 1950]. Dans l'hypothèse où la tête est quasiment isolée électriquement du reste du corps, la moyenne des mesures équiréparties sur la surface de la tête, devrait être nulle. Les mesures du montage en référence moyenne sont obtenues donc en soustrayant la moyenne des mesures en référence commune (voir paragraphe précédent) de chaque mesure.

- **Montages bipolaires:**

Une dérivation bipolaire consiste à effectuer la différence de potentiel de deux électrodes placées l'une à côté de l'autre selon le système 10-20. On distingue 3 types de montages bipolaires: le longitudinal (sens antéro - postérieur), le transversal ou coronal (sens gauche - droite) et le circonférentiel (autour de la tête) [Deuschl et Eisen, 2002]. Ces montages sont largement utilisés pour l'analyse d'ondes de basse et moyenne amplitude hautement localisées.

- **Montage en référence moyenne pondérée ou Laplacien:**

C'est une variation du montage en référence moyenne. Proposé par Hjorth [Hjorth, 1975], il considère une référence moyenne locale, c'est-à-dire que chaque signal enregistré représente la différence entre une électrode et la moyenne des électrodes voisines (moyenne pondérée). Il fait ressortir les gradients de potentiels locaux, comme les montages bipolaires. Ce montage permet de mettre en évidence certaines caractéristiques focales sur certains canaux [Binnie *et al.*, 2003]. Cependant, ce montage est limité par les effets de bord: pour les électrodes placées en bordures, il n'est pas possible d'estimer la moyenne pondérée étant donné que le nombre d'électrodes de voisinages n'est pas le même.

### I.3.3 Les activités rythmiques cérébrales:

L'étude visuelle de l'EEG joue un rôle très important dans le diagnostic de nombreux désordres électrophysiologiques cérébraux. Les durées, les amplitudes, les formes, les fréquences, . . . sont donc des composantes fondamentales de l'EEG. Le terme "rythme" est utilisé lorsque les ondes ont une amplitude et une période homogènes. En EEG, cinq rythmes principaux (ondes ou activités) sont distingués: delta ( $\delta$ ), thêta ( $\theta$ ), alpha ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ) et gamma ( $\gamma$ ) (Figure 5).

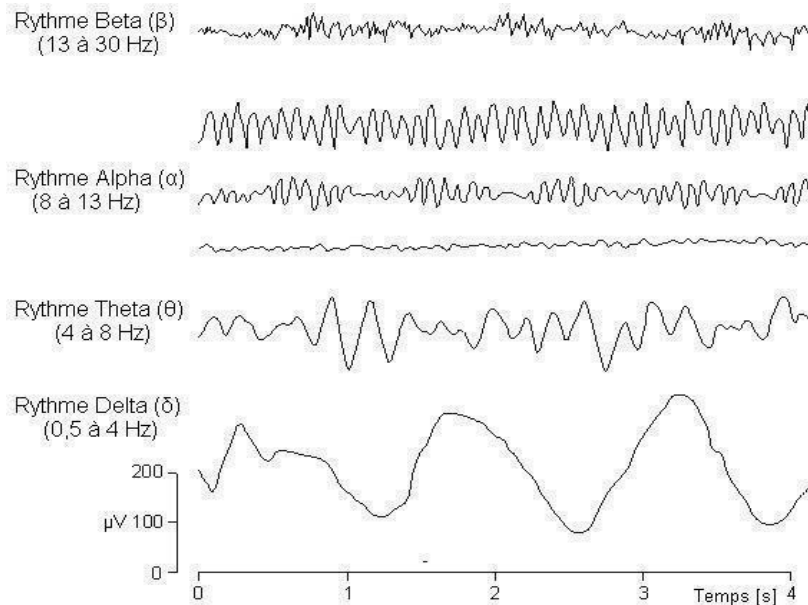


Figure 5. Quatre des principaux rythmes du cerveau observés en EEG [Mueller, 2009].

#### I.3.3.1 Rythme $\delta$ (0,5–4 Hz):

Associé au sommeil profond et présent probablement dans les états de faiblesse. Ses ondes sont très lentes et ont généralement une amplitude importante. Il est courant chez les jeunes enfants de moins d'un an et dans ce cadre il constitue le rythme dominant.

#### I.3.3.2 Rythme $\theta$ (4–8 Hz):

Il apparaît durant le sommeil ou les périodes de concentration. Quelques travaux ont localisé une activité thêta, induite par des tâches de calcul mental, sur la ligne centrale du lobe frontal [Mizuki *et al.*, 1980]. Ce type de rythme peut aussi apparaître pendant la méditation [Hebert et Lehmann, 1977] et lors des processus de mémorisation [Yamaguchi *et al.*, 2007]. Il est fréquent chez les enfants jusqu'à 13 ans. La présence d'un rythme thêta abondant ou asymétrique chez l'adulte éveillé est anormal [Vespignani, 1998] et il est couramment rencontré dans les épilepsies du lobe temporal.

### **I.3.3.3 Rythme $\alpha$ (8–13 Hz):**

Avec une amplitude entre 30 et 50  $\mu V$ , il apparaît principalement dans les régions postérieures (en arrière du vertex). Sa répartition est bilatérale et symétrique et possède une morphologie sinusoïdale ; toutefois dans quelques cas il peut se présenter comme des ondes pointues [Sanei et Chambers, 2007]. Son apparition est favorisée par la fermeture des yeux et par la relaxation, il est donc atténué par l'augmentation de la vigilance, avec une tendance { disparaître lors d'une activité mentale et par l'ouverture des yeux.

### **I.3.3.4 Rythme $\beta$ (13–30 Hz):**

Ce rythme a une localisation dans les régions moyennes des deux hémisphères d'une manière asynchrone. Son amplitude est inférieure à 30  $\mu V$  et couramment masquée par le rythme  $\alpha$ . Il est normal chez l'adulte et il est associé aux activités mentales, de l'attention, de la compréhension du monde extérieur et de la résolution de problèmes. Un haut contenu du rythme  $\beta$  peut être observé pendant en état de panique.

### **I.2.3.5 Rythme $\gamma$ (>30 Hz) :**

Ce terme est utilisé pour se référer aux fréquences au-delà de 30 Hz. Son amplitude trop petite et sa présence très rare le rendent peu détectable dans l'EEG de surface. Il pourrait être associé à la synchronisation entre différentes aires cérébrales impliquées dans un même réseau fonctionnel pour associer les informations nécessaires { l'exécution d'une tâche de haut-niveau [Varela *et al.*, 2001].

### **I.3.4 Les perturbations:**

Les signaux EEG de surface résultent d'une combinaison de signaux cérébraux gé- nérés en profondeur et de signaux électrophysiologiques extra-cérébraux dits artefacts. Ces signaux peuvent faire l'objet d'énergies importantes qui peuvent perturber considérablement l'interprétation clinique ou l'analyse automatique. On peut classer ces perturbations en artefacts et bruit.

#### **Les artefacts:**

Dans ce cadre, les artefacts sont des activités électrophysiologiques non cérébrales.

Quelques exemples d'artefacts très courants sont: les mouvements oculaires, les clignements, l'activité musculaire et l'activité cardiaque. Les mouvements oculaires peuvent être involontaires et apparaissent principalement dans la zone frontale et les zones temporales. Les clignements sont les mouvements mécaniques involontaires des paupières.

L'activité musculaire est une activité de haute fréquence et de grande amplitude due aux mouvements de la tête, aux muscles faciaux ou du cou. Enfin, l'activité Cardiaque est due aux battements du cœur, enregistrés par les électrodes proches d'une artère.

**Le bruit:** On appelle bruit toute composante du signal non informative et non identifiée comme artefact. On distingue deux types de bruit: le bruit de mesure et le bruit électromagnétique. Le premier est attribué { l'instrumentation alors que le dernier est lié { l'environnement. Le bruit est généralement modélisé comme un processus stationnaire issu d'une variable aléatoire.

### **I.4 Travaux de recherche portant sur le diagnostic et traitement de la maladie d'épilepsie:**

Parmi l'un des travaux qui consiste une analyse et suivi de la maladie d'épilepsie une étude qui contribue au diagnostic de l'épilepsie qui montre des résultats très significatifs dont le diagnostic repose sur l'examen clinique, l'électroencéphalogramme et l'imagerie cérébrale. Le traitement vise à contrôler les crises à l'aide de médicaments antiépileptiques, parfois associés à d'autres thérapies (chirurgie, stimulation cérébrale). Bien qu'handicapante, l'épilepsie peut généralement être contrôlée par un traitement adapté, permettant une vie quasi-normale pour de nombreux patients [Revue de la Fédération pour la recherche sur le cerveau]. Dans une autre revue de recherche, des chercheurs ont effectué un travail scientifique dans ce domaine qui vise à mieux comprendre les mécanismes de l'épilepsie, identifier de nouvelles cibles thérapeutiques et développer des traitements plus efficaces avec moins d'effets secondaires [Revue de la Fondation Recherche Médicale].

Une étude récente réalisée par l'association européenne de neurologie qui mis en évidence un diagnostic qui repose sur l'examen clinique, l'électroencéphalogramme permettant d'enregistrer l'activité électrique cérébrale, et éventuellement des examens d'imagerie cérébrale. Le traitement proposé repose principalement sur les médicaments antiépileptiques visant à supprimer les crises. Dans certains cas, une intervention chirurgicale peut être envisagée pour réséquer la zone cérébrale à l'origine des crises. Avec ce traitement adapté, près de 70% des personnes épileptiques peuvent être débarrassées des crises [Revue Inserm].

Dans un article [Revue Sanofi] vise à briser les préjugés qui entourent encore l'épilepsie qui est une maladie neurologique qui touche environ 600 000 personnes en France.

Les principales idées fausses mentionnées sont:

- L'épilepsie ne serait qu'une simple crise passagère, alors qu'il s'agit d'une pathologie chronique nécessitant un traitement au long cours.

- Les personnes épileptiques seraient "folles" ou "possédées", des croyances datant du Moyen-Âge qui persistent encore aujourd'hui.
- L'épilepsie serait contagieuse, ce qui est totalement faux.
- Les personnes épileptiques seraient déficientes intellectuellement, ce qui est un préjugé très répandu mais infondé dans la majorité des cas.
- L'article insiste sur la nécessité de mieux informer le grand public sur cette maladie pour lever les discriminations dont souffrent encore les personnes épileptiques, notamment dans le milieu scolaire et professionnel.

Ils concluent que la clé est de dédramatiser l'épilepsie qui ; lorsqu'elle est bien prise en charge médicalement ; est parfaitement compatible avec une vie personnelle scolaire et professionnelle normale.

D'après le rapport de la fondation hospices civile de Lyon, le diagnostic repose sur l'examen clinique, l'électroencéphalogramme et l'imagerie cérébrale. Le traitement principal consiste en des médicaments antiépileptiques visant à contrôler les crises. L'étude menée illustre que lorsque les médicaments ne suffisent pas, d'autres options thérapeutiques sont possibles comme la stimulation du nerf vague, la chirurgie ou un régime cétogène. Cette recherche progresse sur plusieurs fronts: mieux comprendre les mécanismes, identifier de nouvelles cibles thérapeutiques, développer de nouveaux traitements plus efficaces et mieux tolérés. En résumé, l'épilepsie reste un défi médical majeur nécessitant une prise en charge pluridisciplinaire et des avancées de la recherche [Revue Fédération pour la Recherche sur le Cerveau].

### **I.5 Quelques travaux de recherches et rapport des CHU internationaux**

Une équipe de recherche de CHU de Toulouse ont participés à travers de multiples recherches sur le diagnostic de l'épilepsie. Ces études ont pu aboutir un résultat très satisfaisant, dont ils considèrent qu'il s'agit d'une épilepsie après au moins deux crises non provoquées espacées d'au moins 24 heures, l'épilepsie peut être idiopathique (sans cause identifiée) ou symptomatique (secondaire à une lésion cérébrale) [Revue CHU Toulouse].

Le CHU de BORDEAUX dans l'un de ces innovantes recherches sur la maladie d'épilepsie et suite { un diagnostic qui repose toujours sur la description clinique des crises et l'électroencéphalogramme (EEG) où le traitement est médical dans 70% des cas avec la prise d'antiépileptiques. Dans certains cas, une intervention chirurgicale peut être envisagée. L'essentiel résultat de cette étude est que l'épilepsie ne se guérit pas mais peut

être contrôlée dans 70% des cas avec un traitement adapté. Un suivi régulier est indispensable. Au CHU de Bordeaux, une équipe pluridisciplinaire prend en charge les patients épileptiques [Revue CHU Bordeaux].

Le CHU de VAUDOIX { travers l'une de ses recherches sur l'épilepsie vient confirmer les résultats déjà présentés précédemment et souligne l'importance primordiale d'un diagnostic et d'un traitement précoces pour améliorer le pronostic et la qualité de vie des patients épileptiques. Le suivi est assuré par une équipe multidisciplinaire qui aboutit à nouveau résultat qui consiste { l'application d'une nouvelle technique de haute précision qui est « la radio-neurochirurgie par Gamma Knife », elle permet ainsi de traiter des liaisons du cerveau sans devoir ouvrir le crâne. Elle est composée de 192 faisceaux provenant de source de Cobalt et administre une forte dose de radiation extrêmes focale sur la zone à traitement [Revue CHU Vaudois]. Mais les rayonnements utilisés de type gamma ; qui un rayonnement ionisant ; présentent ainsi un grand risque sur la zone traitée { cause d'utilisation des fortes radiations (connues comme destructeur efficace des cellules cancéreuses) !!!

Une équipe de recherche de l'hôpital de Montréal pour enfant { travers une recherche sur l'épilepsie est arrivée à conclure que cette maladie n'est pas une mentale mais plutôt une affection neurologique causée par des décharges électriques anormales dans le cerveau et que les crises ne sont pas dues à une possession démoniaque ou à des influences surnaturelles, mais bien à un dysfonctionnement cérébral.

Les personnes épileptiques ne sont pas plus susceptibles d'être violentes ou dangereuses que les autres. Elles ne mordent pas leur langue durant une crise. On ne doit pas essayer de retenir une personne en crise ou lui mettre un objet dans la bouche, cela pourrait être dangereux. Il faut juste l'allonger et attendre la fin de la crise.

Elle n'est pas une maladie honteuse ni contagieuse. La plupart des personnes atteintes peuvent mener une vie normale avec un traitement approprié. Les personnes épileptiques peuvent pratiquer la plupart des activités sportives et occupations avec quelques précautions. Les causes de l'épilepsie sont variées: génétique, lésions cérébrales, tumeurs, etc. Elle n'est pas toujours idiopathique. Cette étude vise à informer et déconstruire les idées reçues et la stigmatisation entourant cette maladie neurologique répandue [Revue Hôpital de Montréal pour enfants].

Une nouvelle piste thérapeutique identifiée pour l'épilepsie parmi celle-ci, une

étude menée par des chercheurs du CNRS et de l'Université de Strasbourg qui s'intéressée au rôle des canaux ioniques potassiques dans le cerveau. Ces canaux permettent le passage des ions potassium et régulent ainsi l'activité électrique des neurones. Les scientifiques ont découvert qu'une sous-famille particulière de ces canaux, les canaux Kv7, jouait un rôle clé dans le contrôle de l'excitabilité neuronale. Une activité anormale de ces canaux pourrait être impliquée dans les crises d'épilepsie. En utilisant des modèles animaux et des cultures de neurones, les chercheurs ont montré qu'en activant spécifiquement les canaux Kv7, il était possible de réduire l'hyperexcitabilité neuronale à l'origine des crises épileptiques. Cette découverte ouvre une nouvelle piste thérapeutique potentielle. En ciblant ces canaux avec des molécules pharmacologiques activatrices, on pourrait envisager de développer de nouveaux médicaments antiépileptiques plus efficaces et mieux tolérés que les traitements actuels [Revue CNRS].

Une autre recherche qui rentre dans le domaine application que fondamentale, qui relate une découverte importante sur les causes possibles de l'épilepsie, réalisé par des chercheurs de l'université de Duke aux États-Unis ont identifié une protéine nommée l'arylsulfatase G (arsg), qui pourrait jouer un rôle clé dans le développement de cette maladie neurologique.

Cette découverte est menée sur à des expériences sur des souris de laboratoire, ils ont constaté que lorsque le gène codant pour cette protéine est muté, cela provoque des convulsions épileptiques chez les souris. De plus, en injectant cette protéine aux souris épileptiques, leurs crises diminuaient. Cette découverte pourrait ouvrir la voie à de nouvelles pistes thérapeutiques ciblant cette protéine. Jusqu'à présent, les traitements antiépileptiques existants ne fonctionnent que dans environ deux tiers des cas. Les chercheurs veulent désormais comprendre les mécanismes exacts par lesquels cette protéine participe au développement de l'épilepsie. Mais cette avancée représente un espoir pour mieux traiter cette maladie qui touche environ 1% de la population mondiale [Revue Les Echos].

Des chercheurs de l'Université Paris-Saclay ont développé une nouvelle technique non-invasive utilisant des ultrasons de basse intensité pour moduler l'activité des neurones dans des régions spécifiques du cerveau. Cette technique de neuro-modulation par ultrasons pulsés (UNPM) permet de stimuler ou d'inhiber de façon réversible et sans effet secondaire l'activité neuronale en ciblant des régions profondes du cerveau. Des essais sur des modèles animaux d'épilepsie ont montré que l'UNPM permet de réduire voire d'interrompre les crises d'épilepsie



en modulant l'activité dans certaines régions cérébrales clés. Cette approche pourrait représenter une alternative prometteuse et non-invasive à la stimulation électrique cérébrale profonde actuellement utilisée pour traiter les épilepsies sévères. Cependant, des études complémentaires seront nécessaires avant d'envisager des essais cliniques chez l'humain pour confirmer l'innocuité et l'efficacité de cette technique. En résumé, cette nouvelle modalité de neuro-modulation par ultrasons pourrait ouvrir de nouvelles perspectives thérapeutiques non-invasives pour le traitement de pathologies neurologiques comme l'épilepsie réfractaire [Revue F.R.C].

Dans le même axe de recherche mais beaucoup plus fondamentale, les travaux d'une équipe de chercheurs français de l'INRIA du CNRS et de l'Université Nice Sophia Antipolis qui ont développé un modèle mathématique permettant de simuler et prédire les crises d'épilepsie. Ce modèle se base sur les signaux cérébraux enregistrés par électro-encéphalogramme (EEG) chez des patients épileptiques.

En analysant mathématiquement ces données, ils ont pu identifier des motifs caractéristiques précédant l'apparition d'une crise. Grâce à ce modèle, ils espèrent pouvoir prédire à l'avance les crises chez un patient donné, avec un temps d'avance allant de quelques secondes à une minute environ avant le début de la crise. Cela permettrait au patient d'être prévenu et de se mettre en sécurité. Ce modèle pourrait également aider à mieux comprendre les mécanismes cérébraux à l'origine des crises d'épilepsie et à concevoir de nouveaux traitements plus ciblés. Les chercheurs soulignent que des tests cliniques restent nécessaires pour valider complètement leur approche, mais ces travaux représentent une avancée prometteuse dans la prise en charge de l'épilepsie [site web: « La Croix »].

De nouvelles recherches ont permis de mieux comprendre les mécanismes à l'origine des crises d'épilepsie, ouvrant la voie à de potentiels nouveaux traitements.

Certaines formes d'épilepsie seraient causées par des dysfonctionnements de canaux ioniques dans les cellules neuronales, perturbant l'excitabilité de ces cellules. Des mutations génétiques sur les gènes codant pour ces canaux seraient en cause.

D'autres formes seraient liées à des problèmes de transmission du signal entre les neurones par les récepteurs au neurotransmetteur GABA, qui a un rôle inhibiteur. Des anticorps dirigés contre ces récepteurs pourraient être impliqués. Des défauts de la gaine de myéline entourant les fibres nerveuses pourraient aussi

favoriser les crises en perturbant la propagation des signaux électriques. En comprenant mieux ces différents mécanismes, les chercheurs espèrent développer de nouveaux médicaments plus ciblés et efficaces pour traiter ces différentes formes d'épilepsie pharmaco-résistantes. [Revue Sante log] .

Une étude universitaire effectuée par des chercheurs de l'université de Biskra qui consiste l'analyse des signaux électroencéphalographie (EEG), par la transformée en ondelettes. Cette méthode permet la décomposition du signal à partir d'ondelettes discrètes DWT jusqu'au 4<sup>ème</sup> niveau, en sous bandes delta, thêta, alpha, bêta et gamma pour la différentiation entre les différents signaux acquis de groupes représentant plusieurs types de patients (sains et épileptique). Lecalcul les paramètres statistiques tels que la moyenne, l'écart type, l'entropie et l'énergie extraits du signal EEG, et de ces sous bandes a donné des résultats concluant. [Analyse des signaux EEG par ondelettes, le 03 Juin 2013]

### **I.6 Visualisation de la connectivité fonctionnelle cérébrale:**

Les SEC contribuent aussi, par la possibilité qu'elles offrent de reproduire les crises en totalité ou en partie, d'induire des post-décharges, ou d'évoquer des réponses anormales du tissu nerveux, { l'identification des structures corticales dont le seuil d'excitabilité est anormalement abaissé. Comme pour les cartes d'épileptogénicité, la fusion des données est effectuée { travers d'outils de traitement du signal codés en langage Matlab est intégrés, dans une boîte à outils avec interface graphique, dans l'environnement du logiciel SPM.

### **I.7 Traitements de l'épilepsie:**

#### **I.7.1 Pharmacologique:**

La plupart des épilepsies peuvent être traitées médicalement. Aujourd'hui, de 7 à 8 malades sur 10 ne sont suivis qu'avec un seul médicament. En cas d'échec, un autre médicament peut être proposé, (entre 17 et 30% des cas de succès [FFRE, 2009]). En cas d'un deuxième échec, on pense { l'association de plusieurs médicaments. Toutefois, si on observe une résistance relative ou absolue aux médicaments, on parle donc de pharmaco-résistance et une solution envisagée est la chirurgie.

#### **I.7.2 Chirurgie:**

La place de la chirurgie demeure cependant limitée. Elle s'adresse environ { la moitié des patients ayant une épilepsie partielle pharmaco-résistante et pour lesquels la zone épileptogène (ZE) est localisée, accessible et que son extirpation ne présente aucune (ou bien la moindre) prise de risque d'altération fonctionnelle (troubles du langage, de la mémoire, ...).

Les épilepsies du lobe temporal sont celles qui bénéficient le plus de la chirurgie. Le succès peut être attendu dans 80 à 90% des cas [FFRE, 2009]. Les résultats sont beaucoup moins favorables pour les épilepsies frontales ou pariétales. Trois types d'intervention sont actuellement pratiquées suivant une neurochirurgie classique: la cortectomie, la callosotomie et l'hémisphérotomie.

La première est limitée à la résection de la zone où la ZE a été individualisée. Concernant la deuxième, elle est indiquée dans certaines épilepsies généralisées graves et consiste { la résection totale d'une structure cérébrale. Enfin, l'hémisphérotomie est l'isolation des hémisphères l'un de l'autre. Elle est réservée aux jeunes enfants nés avec une malformation anatomique ou une lésion prénatale importante. En France, chaque année, seulement 200 à 300 personnes sont concernées par ce dernier type d'intervention.

### **I.7.3 Stimulation du nerf vague:**

Étant donnés les paramètres multiples qui doivent être réunis pour envisager une exérèse de la ZE, de nombreux cas ne sont pas concernés par la chirurgie "curative". C'est pour cela que des solutions "palliatives" sont envisagées, visant à réduire la fréquence des crises et/ou la sévérité des conséquences. L'une de ces solutions est la stimulation du nerf vague [FFRE, 2009].

Le principe est le même que celui d'un stimulateur cardiaque. Le stimulateur est un boîtier (5 cm de diamètre) contenant un fil conducteur (électrode) que l'on enroule autour du nerf vague. Il est implanté chirurgicalement sous la clavicule gauche (Figure 1.5(a)). Les impulsions électriques qu'il génère vont atteindre les différentes régions cérébrales et agir sur les foyers de l'épilepsie.

### **I.7.4 Le gamma knife:**

Le gamma knife (GK) représente une chirurgie qui consiste à irradier la ZE par des faisceaux convergents en utilisant une puissance de radiation très élevée (Figure 1.5(b)). La radiochirurgie a l'avantage d'être non invasive et de ne détruire que les cellules défectueuses. Elle représente une option pour atteindre de faibles volumes tumorales situés dans des structures profondes inopérables par la chirurgie classique.

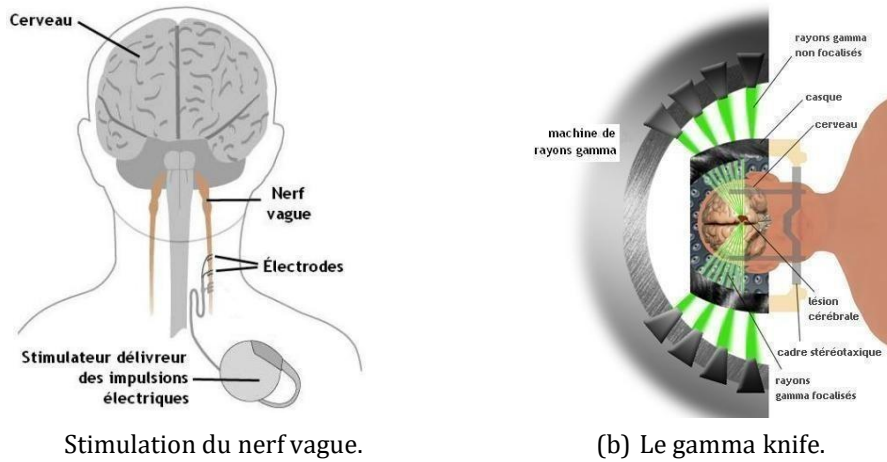


Figure 6. Différents types de traitement pour l'épilepsie ((a) [Alliance-Canadienne-de-l'épilepsie, 2009] (b) [e-community, 2009])

### I.8 Problématique:

Dans le cadre de l'exploitation de la SEEG, dédiée à l'étude des épilepsies, des travaux ont mis en évidence l'apparition et la disparition des crises d'épilepsies du lobe temporal [Caparos, 2006]. L'étude de la compréhension de certains mécanismes épileptogènes de profondeur à travers les signaux de surface restent à ce jour essentiel [K u's et al., 2004]. De ce fait, nous avons souhaité poursuivre ces travaux en évaluant les différences de potentiel dans les zones épileptogènes à travers les SEEG afin de calculer l'énergie à utiliser comme source du prototype photoélectrique contenant un semi-conducteur.

Le travail présenté dans ce mémoire s'inscrit donc le diagnostic neurologique et plus précisément dans le cadre de la détection et description du déroulement de la crise d'épilepsie et calculer les d.d.p à partir des enregistrements SEEG qui seront traités par Logiciel MATLAB qui seront exploités par la suite pour la proposition d'un dispositif de traitement de la maladie (startup en cours).

### I.9 Conclusion:

Nous avons donc souhaité poursuivre les travaux en favorisant la méthode d'estimation de la d.d.p par les signaux SEEG paramétriques fournis par expertises cliniques de L'Hopital de Pédiatrie de Albiar, associées qui est une étape de prétraitement, de quantifier l'énergie de source de traitement qui sera utilisée.

Pour réussir à atteindre cet objectif, trois étapes doivent être mises en œuvre. La première concerne l'exploration et l'exploitation des SEEG afin de caractériser leur évolution dans le temps. La deuxième partie consiste à l'application de prétraitement du signal codés en langage Matlab est intégrés pour avoir la minimale d'information utile constitue l'étape suivante des travaux.

Enfin, l'évaluation énergétique pour la réalisation de la partie expérimentale qui sera appliquée pour le traitement qui fait l'objet de notre travail.

**Chapitre II: Anatomie et physiologie  
du cerveau: Cas de la maladie  
d'épilepsie**

## **II.1 Introduction:**

Le cerveau constitue le centre de contrôle du corps humain, il gère tout ce que nous faisons. Que l'on soit en train de penser, de rêver, de faire du sport, ou même de dormir, le cerveau y prend part d'une façon ou d'une autre. C'est un exemple d'ingénierie organisée en différentes parties connectées entre elles de façon très spécifique. Chaque partie du cerveau a des tâches particulières à réaliser, ce qui fait de lui un processeur ultime. Travaillant en tandem avec le reste du système nerveux, le cerveau reçoit et envoie des messages, permettant une communication ininterrompue entre le monde extérieur et le soi.

Les maladies neurologiques sont des pathologies qui touchent le système nerveux central (encéphale et moelle épinière) ou périphérique. Ainsi, ce terme regroupe des affections diverses telles que les maladies d'Alzheimer et de Parkinson, la schizophrénie, le trouble du spectre de l'autisme, la sclérose en plaques, l'épilepsie ...

L'épilepsie est une maladie neurologique mal connue, qui touche environ personnes dans le monde, dont la moitié aurait moins de 20 ans. Elle se caractérise par la répétition de crises imprévisibles, soudaines et souvent très brèves, qui prennent des formes très diverses.

## **II.2. Anatomie et physiologie du cerveau:**

### **II.2.1 Le cerveau:**

Le système nerveux (SN) est divisé en deux parties principales: le système nerveux central (SNC) et le système nerveux périphérique (SNP). D'une part, le SNC comporte l'encéphale et la moelle épinière. En effet, l'encéphale, situé dans la boîte crânienne, est composé du cerveau et de tous les nerfs qui le connectent aux muscles et organes sensoriels. D'autre part, le SNP comporte les nerfs crâniens et spinaux (rachidiens).

La principale structure de l'encéphale est le cerveau. Il comporte deux hémisphères, droit et gauche, bien définis par la scissure longitudinale ou inter-hémisphérique. Comme conséquence des plis formés sur la surface, le cerveau est subdivisé en lobes: un frontal, deux temporaux, un pariétal et un occipital (Figure 1.1). Chaque lobe est associé à certaines fonctions:

1. Lobe frontal: il est attribué à la parole, le langage, l'humeur, la pensée et la planification ;
2. Lobe pariétal: il est associé aux mouvements et à la réception des messages pro-

Venant du corps ;

3. Lobe occipital: il est lié à la vision ;
4. Lobes temporaux: ils sont associés à la mémoire et à des émotions.

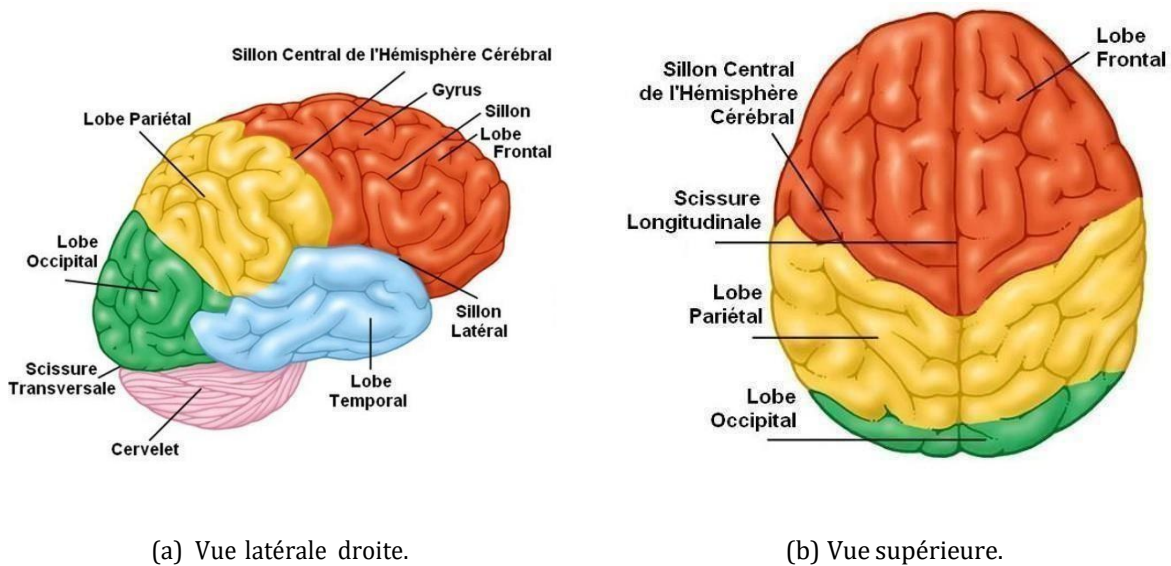


Figure 7. Représentation schématique des divisions de l'encéphale ( de [Amicus-Visual- Solutions, 2009]).

La surface des hémisphères est composée d'une substance grise, appelée cortex cérébral. Le cortex, dans ses différents niveaux, renferme différentes classes de cellules très particulières et hautement spécialisées, les neurones.

### II.2.1 Le neurone:

Le neurone est la cellule constituant l'unité fonctionnelle du SNC. Les trois parties principales d'un neurone sont: le corps cellulaire ou soma, l'axone et les dendrites. Le soma contient les organites, les axones transmettent des signaux électriques nommés influx nerveux (ou potentiel d'action) et les dendrites assurent les connexions entre neurones, à travers les liaisons nommées synapses (Figure 1.2), Les neurones, comme les fibres musculaires, sont excitables électriquement.

### II.2.2 L'activité électrique du cerveau:

Les neurones communiquent les uns avec les autres au moyen de deux types de signaux électriques: les potentiels d'action (permettant la communication sur des dis-



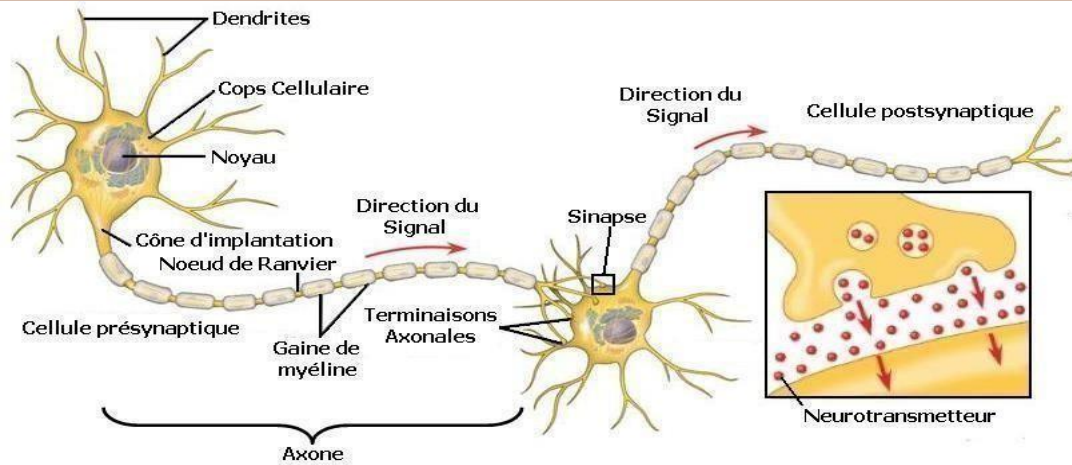


Figure 8. Schéma d'un neurone et ses principales parties (inspirée de [Eating-Disorder- Institute, 2009]).

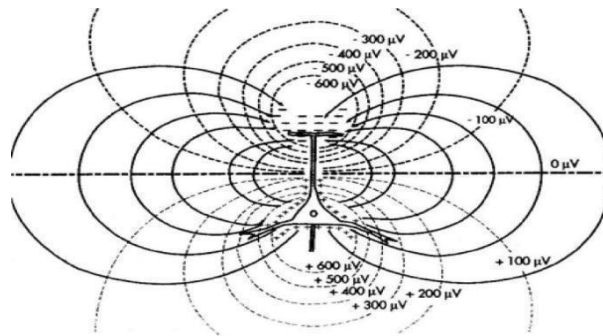
Tances courtes et longues) et les potentiels électriques (servant particulièrement à la communication sur des courtes distances).

Les principaux générateurs de l'activité électrique du cerveau sont les neurones pyramaux du cortex (sous-section 1.4). À la différence des autres, ces neurones sont disposés en parallèle entre eux et ils sont perpendiculaires à la surface corticale. Cette disposition structurée en parallèle permet l'addition de courants locaux.

Pour qu'une activité électrique (courants extra-cellulaires) puisse être recueillie par une électrode placée sur la surface de la tête, il faut avoir la synchronisation de milliers de cellules en même temps. La surface corticale minimale active pour l'apparition d'un potentiel de scalp a été estimée à 6 cm<sup>2</sup> [Nunez et Srinivasan, 2006]. L'observation de rythmes s'explique par l'existence du phénomène de synchronisation de certaines populations de neurones présentant une similitude structurelle et fonctionnelle. De plus, il est possible de trouver des altérations dans la synchronisation des cellules dues à une excitation anormale d'un grand nombre de cellules nerveuses. Dans de telles situations, on parle d'épilepsie.

### II.3 L'épilepsie:

L'épilepsie est un désordre neurologique chronique caractérisé par des crises récurrentes. Elle est l'expression d'un fonctionnement anormal, aigu et transitoire de l'activité électrique d'une zone cérébrale qui se traduit par des crises épileptiques. Le terme



**Figure 9.** Représentation d'une cellule pyramidale et de ses champs de potentiels électrique. Les iso- potentielles sont représentées par les lignes en pointillés. Les lignes pleines, qui sont perpendiculaires aux lignes de potentiels, indiquent un courant ex- tracellulaire produit par cette différence de potentiels [Adam et al., 2000].

"épilepsie" vient du mot grec "επιλαμβάνειν (*epilambanein*)", qui signifie "assaillir" ou "prendre par surprise".

Selon la définition élaborée en 2005 par la Ligue Internationale Contre l'Épilepsie, ILAE (*International League Against Epilepsy*) et le Bureau International pour l'Épilepsie, IBE (*International Bureau for Epilepsy*), une crise épileptique est la survenue transitoire de signes et/ou de symptômes dus à une activité neuronale anormale excessive ou synchrone, dans le cerveau. D'autre part, l'épilepsie est une atteinte cérébrale caractérisée par une prédisposition persistante à la production de crises épileptiques, et par les conséquences neurobiologiques, cognitives, psychologiques et sociales de cet état. Cette définition nécessite la survenue d'au moins une crise épileptique [Fisher et al., 2005].

Dans le monde, entre 40 et 50 millions de personnes sont touchées par l'épilepsie [FFRE, 2009; World Health Organization et al., 2005]. En France, on considère entre 450 000 et 500 000 personnes souffrant d'épilepsie dont 250 000 ont moins de 20 ans [FFRE, 2009; Epilepsie - France, 2009]. Après la migraine, première cause de consultation en neurologie, l'épilepsie est l'affection neurologique la plus fréquente.

### II.3.1 Étiologie:

- **Les épilepsies symptomatiques:** Elles sont dues à une lésion cérébrale: malformation congénitale, encéphalite, séquelles d'une souffrance natale, traumatisme crânien, accident cérébraux-vasculaires, tumeurs, infections du SNC, maladies neurologiques évolutives, anomalies des chromosomes, malformations cérébrales, . . . . Elles peuvent se présenter sous la forme: d'épilepsies partielles, du Syndrome de West, du syndrome de Lennox-Gastaut ou d'une épilepsie multifocale. Selon la Fondation pour la Recherche sur l'Épilepsie, FFRE, 40% des épilepsies sont d'origine symptomatique [FFRE, 2009].

- **Les épilepsies cryptogéniques:** Lorsque qu'une cause est suspectée, mais ne peut être prouvée par les moyens diagnostiques actuels, on parle d'épilepsie cryptogénique. Ces épilepsies représentent environ 30% des cas mais ce chiffre est en constante diminution du fait de l'évolution permanente des nouvelles techniques d'exploration.
- **Les épilepsies idiopathiques:** Ce type d'épilepsie concerne des sujets sans aucune lésion cérébrale détectée et sans autre cause clinique diagnostiquée auparavant. Ceci fait suspecter une lésion invisible en imagerie cérébrale et engendre tout de même un dysfonctionnement transitoire du cerveau. Les épilepsies idiopathiques de l'adulte sont toujours généralisées. Ce sont essentiellement des épilepsies, datant de l'enfance ou de l'adolescence, n'ayant pas guéri mais le plus souvent elles sont en rémission durable sous traitement. Elles disparaissent vers la puberté ou { l'âge adulte.

Quant aux épilepsies symptomatiques ou cryptogéniques, elles sont le plus souvent partielles. Elles représentent près du 70% des épilepsies de l'adulte [FFRE, 2009; Faure et Jordan-Meille, 2009].

### II.3.2 Classification des crises:

Parce que les manifestations cliniques de l'épilepsie sont très variées, en 1970, une première classification a été publiée [Gastaut, 1970]. En 1981, la ILAE a proposé une nouvelle classification des crises [ILAE, 1981]. Cette classification est résumée de la façon suivante.

#### ➤ Crises partielles (crises focales):

- (a) Crises partielles simples (sans rupture de conscience) ;
- (b) Crises partielles complexes (avec altération de la conscience) ;
- (c) Crises partielles secondairement généralisées ;

#### ➤ Crises généralisées (convulsives ou non convulsives):

- (d) Absences typiques (ou *petit mal*, suspension de l'activité en cours et une perte de conscience de quelques secondes) ou atypiques (comme les typiques mais accompagnées de quelques contractions musculaires) ;
- (e) Crises myocloniques (secousses musculaires brèves et imprévisibles) ;
- (f) Crises cloniques (secousses rythmiques des membres) ;
- (g) Crises toniques (contraction des muscles, de courte durée avec une

perte de conscience) ;

(h) Crises tonico-cloniques (ou *grand mal*) ;

(i) Crises atoniques (perte du tonus musculaire) ;

#### **II.4 Crises non classées:**

Les crises partielles n'affectent que certaines parties cérébrales. Elles se manifestent par des troubles moteurs, sensoriels et sensitifs, de la mémoire, de la conscience ou de la parole. Certaines de ces crises partielles peuvent évoluer vers une crise généralisée tonico-clonique.

Les crises généralisées ne comportent aucun signe qui permette de localiser une région précise du cerveau. Parmi celles-ci, les crises tonico-cloniques sont les plus connues, les plus impressionnantes et par chance les moins fréquentes. Elles se manifestent par une perte de connaissance avec chute, mouvements convulsifs, morsure de la langue,

Ces crises étaient autrefois appelées "grand mal" ou "haut mal". D'autre part, les absences se manifestent par une brève rupture de la connaissance. Elles répondaient autrefois à la définition du "petit mal".

#### **II.5 Conclusion:**

Ce présent chapitre est consacré à des quelques notions anatomiques et physiologiques du cerveau humain. Celui-ci peut être atteint par plusieurs maladies et anomalies ; tel que l'épilepsie ; posent un réel problème de santé publique étant donné leur retentissement sur les patients et sur leurs proches aidants. Les chercheurs souhaitent donc développer des nouveaux moyens diagnostiques et thérapeutiques pour en améliorer leur prise en charge.

**Chapitre III: Etude expérimentale:  
Diagnostic par  
Électroencéphalographie 'EEG' pour  
l'exploration cérébrale de zone  
Epilptogene**

### **III .1 Introduction:**

La SEEG, un examen primordial pour la chirurgie de l'épilepsie. La SEEG est une exploration de l'électroencéphalogramme (EEG) qui enregistre directement l'activité cérébrale in situ grâce à des électrodes intracrâniennes. Elle peut être proposée au cours du bilan préopératoire d'une épilepsie focale pharmaco-résistante. Pour ceci nous avons effectué un stage au sein du service neuro- pédiatrie de l'hôpital ALABIAR, dans lequel nous avons bénéficié des connaissances sur la technique SEEG ainsi les résultats de plusieurs cas de maladie d'épilepsie afin de faire un prétraitement dans le chapitre suivant.

### **III.2 Principe de l'électroencéphalographie (EEG):**

L'EEG est une technique qui permet l'enregistrement de l'activité électrique corticale au moyen des électrodes de surface posées sur le scalp. C'est un moyen d'exploration des activités cérébrales normales et anormales ou pathologiques.

Depuis plusieurs années, l'EEG numérisé ou digitalisé a progressivement remplacé dans les laboratoires,

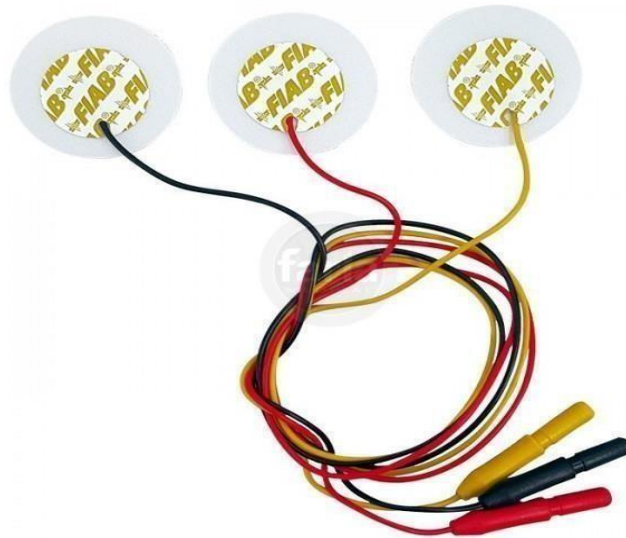
L'EEG traditionnelle avec encre à papier. Elle constitue une exploration de choix pour le diagnostic de l'épilepsie, en plus d'autres pathologies cérébrales, qui peuvent être d'origine: vasculaires (Accidents vasculaires cérébraux), infectieuses (méningites, les encéphalites), traumatiques.

### **III.3 Matériels et méthodes d'enregistrement d'un EEG:**

#### **III.3.1 Matériels:**

**a. Les électrodes d'enregistrement:** le signal EEG est enregistré { l'aide de deux types d'électrodes { tampon et { pince en nombre suffisant (9 { 32 pour chacune) pour explorer l'ensemble des régions corticales:

- **Electrodes tampons:** imbibées d'une solution saline, pour faciliter le contact et l'enregistrement.



*Figure 10. Electrode Tampon*

- **Electrodes à pince:** placés sur les électrodes tampons, comporte un câble électrode assurant la liaison avec la boîte têtère ou le préamplificateur de l'appareil EEG (comporte les pores d'entrées des électrodes { pince}). (Figure 11)



*Figure 11. Electrode a pince*

**b. Le casque EEG:** les électrodes tampons sont fixées sur le scalp { l'aide d'un casque EEG, à lanière souple et extensible en caoutchouc, sous laquelle on glisse les électrodes, la fixation se fait par pression.

Pour cette raison on place le casque EEG en premier temps après on place les électrodes tampons selon le système international 10-20, puis on fixe les électrodes pinces sur les électrodes tampons, ces derniers vont être fixées sur la boîte têtère et { l'appareil EEG.



Figure 12. Casque EEG

**c. Appareil EEG numérique:** Après l'enregistrement du signal EEG par les électrodes et la boîte têtère, le signal EEG est numérisé (acquis et traité) par un ordinateur, et puis stocké dans une mémoire informatique de grande capacité (disque dure). Après, le signal EEG est visualisé { l'aide d'un moniteur ou un écran, sous forme d'un tracé EEG ou électroencéphalogramme composé de plusieurs lignes d'activité électro-encéphalographique évoluant en fonction du temps.

L'archivage du tracé EEG se fait sur un support numérique « CD » par gravure, ou par impression sur un papier { l'aide d'une imprimante numérique. (Figure 13)

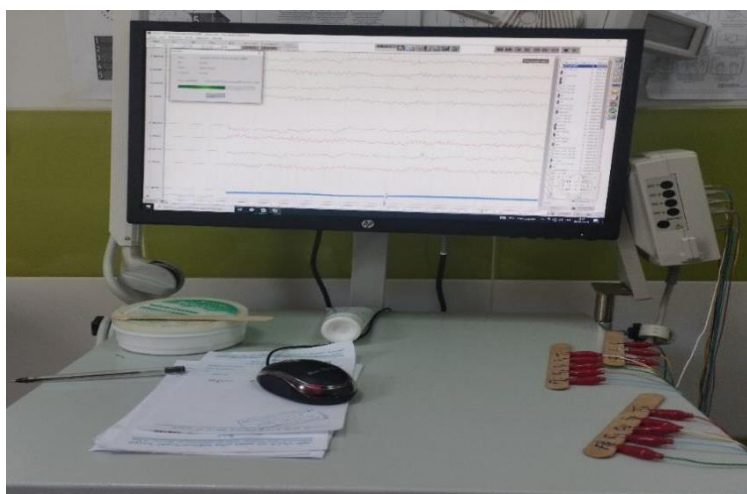


Figure 13. EEG numérique.

### III.4 Méthodes d'enregistrement de l'EEG:

#### III.4.1 Positionnement des électrodes:

Selon le système international 10-20: pour un adulte et grand enfant: 19 à 21 électrodes sont placées sur l'ensemble de la convexité crânienne.



Les noms attribués aux électrodes correspondent aux zones cérébrales en regard, et ils sont désignés par des numéros, paire pour le côté droit, et impaire pour le côté gauche.

On commence par mesurer la distance entre le nasion et l'inion (racine du nez -protubérance occipitale externe) en passant par le vertex. Cinq points médians sont marqués sur cette ligne et désignés par l'appellation: Fronto-polaire (Fp), Frontal (F), Central (C) ou Rolandique (R), Pariétal (P) et le dernier occipital (O) sont { une distance respective du nasion et de l'inion égale { 10% de la longueur totale, et les points suivants à une distance les uns des autres égales à 20%.

Les électrodes frontales médianes (Fz), Rolandique médiane (Cz) et pariétales médiane (Pz) sont placées sur les points de repère en regard.

Puis on mesure la distance entre les points pré-auriculaires droits et gauches. Sur la ligne transversale passant par ces deux points et le point Rolandique médian (Cz) sont placées en premier lieu: à 10% de la distance totale, les électrodes Temporales antérieures (T3, T4) ; 20% au-dessus, les électrodes Rolandiques latérales (C3, C4).

Une ligne circulaire, décrivant les bords de la calotte crânienne, passe par les points: Fronto-polaire médian (Fpz) et Occipital médians (Oz) et les électrodes Temporales antérieures (T3, T4). On y place ; les électrodes Frontopolaires latérales (Fp1, Fp2) et Occipitales latérales (O1, O2) à 10 % de la longueur Fpz-Oz. Les électrodes Frontales basses (F7, F8) et temporales postérieures (T5, T6) respectivement à mi-distance des électrodes Fronto-polaires – Temporales antérieures et Temporales antérieures- Occipitale latérales (soit à des distances égales à 20 % de la longueur totale).

Les électrodes Frontales latérales (F3, F4) et Pariétales latérales (P3, P4) sont placées à égales distance, les premières de la Frontale médiane (Fz) et des Frontales basses (F7, F8), les secondes de la Pariétale médiane (Pz) et des Temporales postérieures (T5, T6). Et enfin, en place les électrodes A1 et A2, au niveau du lobe de l'oreille qui est une zone inactive.

### **III.4.2 Le principe des montages:**

Les électrodes placées selon le système international 10-20, sont reliées entre elles selon des montages de complexité variable, préétablies et programmés par l'appareil EEG numérisé. Un montage est un groupe de dérivations (enregistre le courant dérivé entre deux électrodes sous forme de ddp). On a deux types de montage: Montage monopolaire ou référentiel et un Montage bipolaire.

- **Le montage monopolaire:** constitué d'une série de dérivation monopolaires (la ddp enregistré entre électrode active et inactive ou de référence en A1 et A2). En nombre de 19 dérivation numérotées de 1 à 19, et chaque dérivation enregistre une ligne sur le tracé EEG.
- **Le montage bipolaire:** constitué d'une série de dérivation bipolaire (ddp enregistrée en deux électrodes actives). Il comprend le montage longitudinal (antéro-postérieur), et transverse. 18 dérivation pour le montage longitudinal, numéroté de 1 à 18. Et 16 dérivation pour le montage transversal numéroté de 1 à 16. Et chaque dérivation enregistre une ligne sur le tracé EEG (en longitudinal et en transversal).

### III.5 Technique d'enregistrement d'un EEG:

**III.5.1 Les conditions techniques pour réaliser un EEG:** avant de commencer l'examen EEG, il faut:

- Interroger le malade sur le motif clinique indiquant l'examen EEG.
- Chercher d'éventuel contre-indication de certain test d'activation EEG, comme l'hyperpnée chez les asthmatiques ou les cardiopathies.
- Le patient doit être en position couché (décubitus dorsal) ou en demi-assise yeux fermés.
- La durée d'un examen EEG standard de veille est environ 20mn.

### III.5.2 Le protocole d'un EEG standard de veille:

On commence par l'enregistrement d'un tracé spontané ou sujet au repos yeux fermés, pendant une durée de 3 { 5mn, avec des réactions d'arrêt visuelle. Puis des épreuves d'activation type hyperpnée, 1 à 2, pendant une durée de 3 à 5mn (pour chacune), et en terminant par l'épreuve de stimulation lumineuse intermittente (SLI).

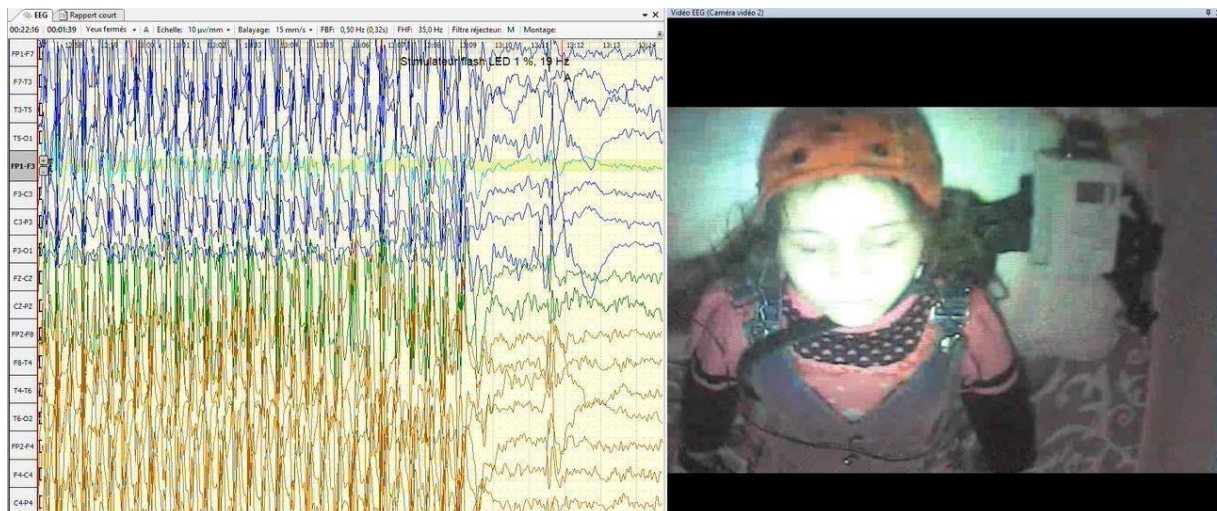
### III.5.3 Les épreuves d'activation:

- **La réaction d'arrêt visuelle:** après un temps d'enregistrement du tracé spontané yeux fermés, on demande au patient d'ouvrir ses yeux pendant une séquence de quelques secondes et de les fermés après, cette réaction provoque l'interruption momentanée du rythme alpha occipital, remplacé par une activité rapide, de faible amplitude. Après la fermeture des yeux le rythme alpha se rétablit.

- **L'hyperpnée:** après un temps d'enregistrement spontané suffisant de plusieurs minutes, on demande au patient de faire une respiration ample et lente pendant 3

à 5mn. Elle provoque une hyper oxygénation, ce qui entraine une baisse du taux de CO<sub>2</sub> sanguin (hypocapnie). L'hypocapnie entraine une vasoconstriction des vaisseaux cérébraux, ce qui entraine une diminution du débit sanguin cérébral et une anoxie, { l'origine d'une perturbation du métabolisme des cellules cérébrales. Ces modifications biochimiques peuvent faire apparaitre des activités électriques pathologiques.

- **La stimulation lumineuse intermittente:** elle utilise des éclairs lumineux brefs, intenses et répétés, { l'aide d'un stroboscope placé face aux yeux du malade, dont la fréquence est progressivement croissante et décroissantes de 3 à 25Hz. Elle peut provoquer l'apparition des activités électriques pathologiques appelées réponses photo paroxystiques à type de pointes-ondes ou polypointes-ondes. Elle est essentielle dans l'exploration des épilepsies photosensibles.



*Figure 14. Photos prise lors la stimulation lumineuse intermittente d'une patiente qui souffre des crises d'absence*

### III.6 Les résultats EEG:

#### III.6.1 Les activités EEG physiologiques ou normales:

L'enregistrement de l'activité électrique corticale constitue un biorythme qui varie au cours du nycthémère (cycle veille et sommeil) et se modifie en fonction de l'âge. Les ondes cérébrales physiologiques sont caractérisées par leurs fréquences, leurs amplitudes, leurs topographies et leurs réactivités.

- Rythme alpha: fréquence comprise entre 8 à 13Hz, amplitude de 20 à 100 microvolt. Il se distribue dans les régions postérieures du scalp, de façon bilatérale à prédominance occipitale, amplitude maximale yeux fermées, il est bloqué par l'ouverture des yeux.

- Rythme béta: fréquence supérieure à 13Hz, amplitude faible inférieure à 20microvolte, occupe les régions rolandiques et frontales. Il peut être bloqué lors de l'exécution volontaire d'un mouvement.

Les rythmes alpha et béta, sont des activités retrouvés pendant l'état de veille .

- Rythme thêta: fréquence comprise entre 4 { 7 Hz, d'amplitude: 50 microvolts. Chez l'adulte, en état de veille normalement présent mais peu abondant, de topographie temporale, souvent masqué par le rythme alpha, s'accroît pendant le sommeil léger.

- Rythme delta: fréquence inférieure ou égale à 3,5Hz, amplitude grande mais variable;

Il n'est jamais présent chez l'adulte éveillé au repos. Mais, on le rencontre pendant le sommeil profond.

Les rythmes delta et thêta physiologiques, sont retrouvées surtout pendant l'état de sommeil.

### **III.6.2 Les activités EEG pathologiques:**

Il existe deux types d'activités EEG pathologiques: les ondes de ralentissement de l'activité corticale, les anomalies paroxystiques.

#### **a. Les ondes de ralentissement de l'activité cérébrale:**

C'est la présence des activités lentes de la bande delta ou thêta, pathologiques, survenant en dehors de l'état physiologique du sommeil, ne respectant pas l'âge EEG du patient. Elles peuvent être localisées (en regard de la région corticale lésée) ou généralisées. Elles peuvent être d'origine: vasculaire, traumatique, infectieuse, tumorale.

#### **b. Les anomalies paroxystiques:**

Ce sont des activités pathologiques, qui se caractérisent par un début et une fin brusque, qui se détachent nettement du rythme de fond. On distingue, essentiellement sur une base morphologique, plusieurs types d'anomalies élémentaires:

- La pointe: c'est une onde de très brève durée (10-70 ms) et de grande amplitude.
- La pointe-onde: est une pointe immédiatement suivie d'une onde lente.
- Les polypointes: elle représente des pointes groupées en un très court laps de temps.
- Les polypointes-ondes: est la succession de polypointes et de plusieurs ondes lentes.

La présence de ces anomalies paroxystiques permet le diagnostic de l'épilepsie, elles peuvent être localisées (de siège frontal, temporal, occipital...) ou

généralisées.

**L'épilepsie:** est définie par la répétition chez le même sujet de crises épileptiques spontanées.

Les crises d'épilepsie sont des manifestations cliniques paroxystiques motrices, sensorielles, accompagnées ou non d'une perte de connaissance, liées { une décharges anormale, excessive et hypersynchrone d'une population de neurones corticaux. Elles peuvent être focalisées (frontale, temporale, occipitale ), ou généralisées.

La sémiologie clinique des crises épileptiques dépend de l'origine topographique et de la propagation des décharges neuronales.

Donc, L'EEG permet de recueillir des arguments pour le diagnostic positif, et pour déterminer le type de l'épilepsie, exemple: Epilepsie généralisée: Grand mal, absence. Epilepsie partielle: temporale, occipitale, frontale.

### III.7 Etude expérimentale de l'Application de la méthode SEEG:

Nous avons utilisé L'EEG numérique qui est innovant de marque **NIHON KOHDEN**, qui permet l'enregistrement de l'activité électrique corticale au moyen de **32 électrodes** de surface posées sur le scalp. C'est un moyen d'exploration des activités cérébrales normales et anormales ou pathologiques.

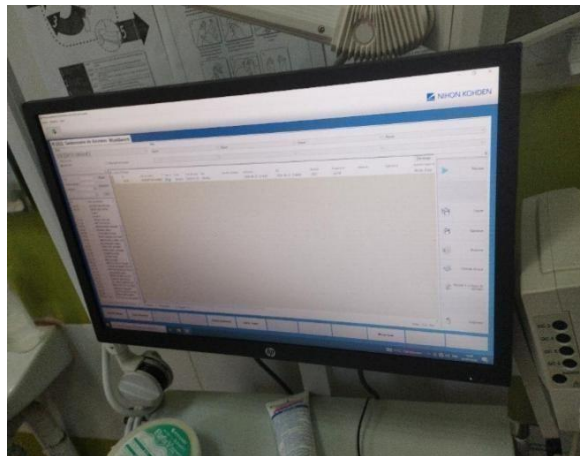


Figure 15. EEG de marque « NIHON KOHDEN ».

### III.8 Les résultats EEG:

L'épilepsie: est définie par la répétition chez le même sujet de crises épileptiques spontanées.

Les crises d'épilepsie sont des manifestations cliniques paroxystiques motrices, sensorielles, accompagnées ou non d'une perte de connaissance, liées { une décharges anormale, excessive et hypersynchrone d'une population de neurones

corticaux. Elles peuvent être focalisées (frontale, temporale, occipitale...), ou généralisées.

La sémiologie clinique des crises épileptiques dépend de l'origine topographique et de la propagation des décharges neuronales.

Donc, L'EEG que nous avons obtenus nous a permet de recueillir des arguments pour le diagnostic positif, et pour déterminer le type de l'épilepsie, exemple: Epilepsie généralisée: Grand mal, absence. Epilepsie partielle: temporale, occipitale, frontale.

➤ **Premier cas: Epilepsie type « Absence » (simple):**

**Définition:** Les crises d'absence (CA) sont de brèves crises d'épilepsie qui surviennent pendant l'enfance et l'adolescence. Selon les caractéristiques cliniques et les résultats de l'électroencéphalogramme (EEG), elles sont divisées en absences typiques, atypiques, et en absences avec caractéristiques particulières.

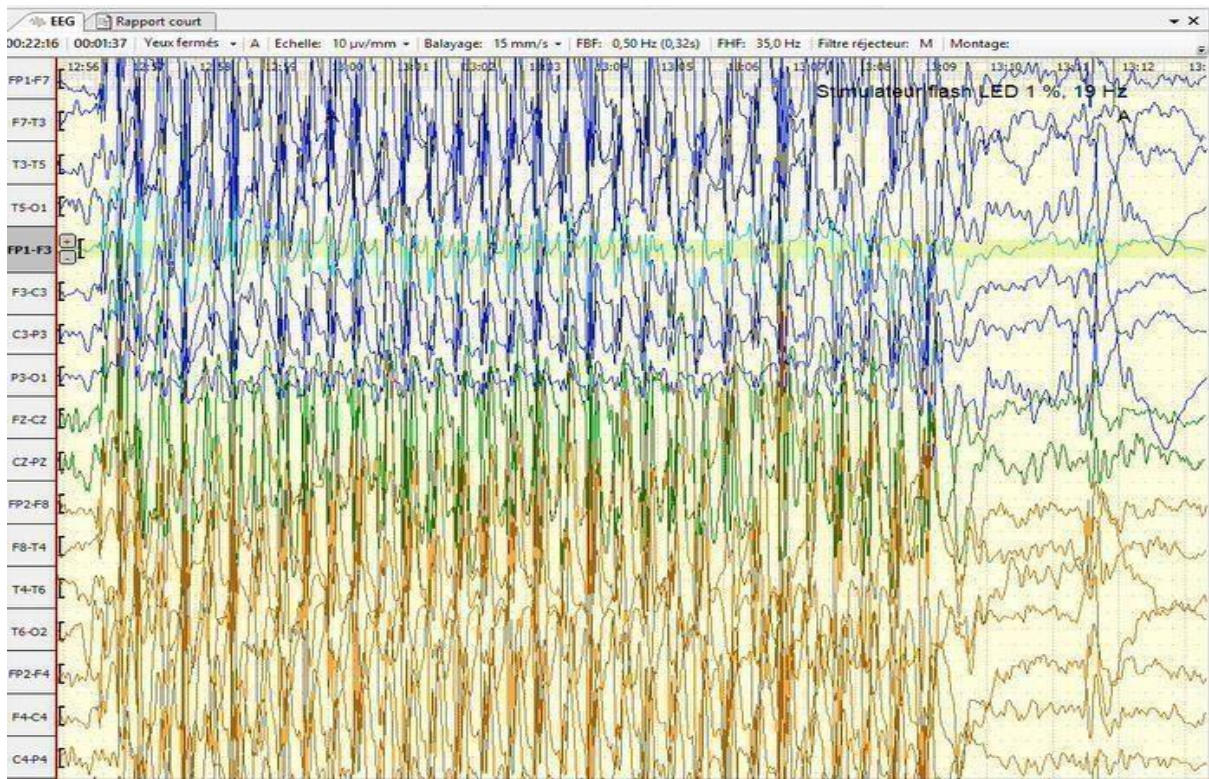


Figure 16.: Tracé d'un EEG type « Absence »

➤ **Deuxième cas: Epilepsie type « Absence myoclonique » .**

**Définition:** Dans les crises d'absence myoclonique, les bras et les épaules bougent rythmiquement (3 fois/s), provoquant un soulèvement progressif des bras. Erègle générale, ces crises durent de 10 à 60 secondes. Le trouble de la conscience peut ne pas être évident.

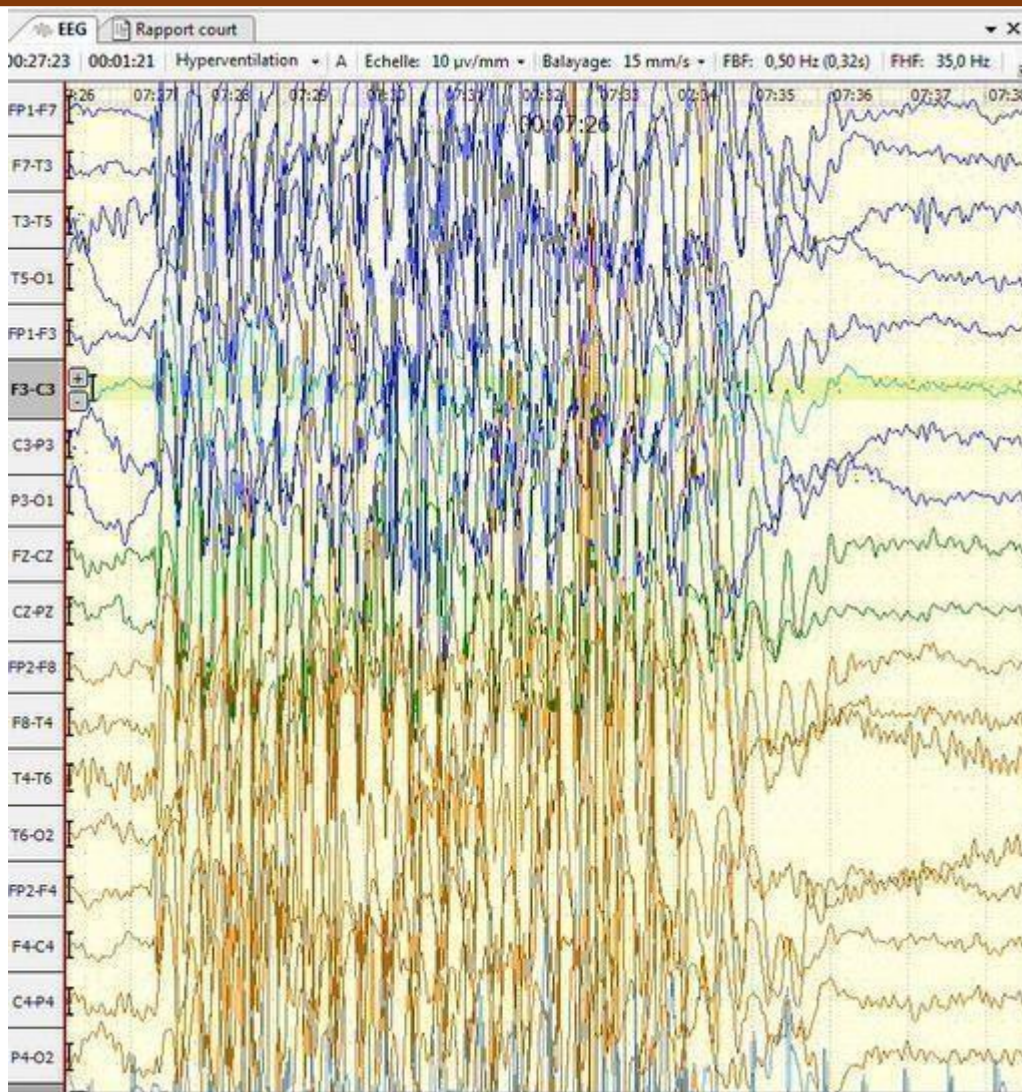


Figure 17. Tracé d'un EEG type « Absence myoclonique ».

### Conclusion:

L'étude expérimentale sur nous avons mesuré, nous a permis des résultats très satisfaisants et ainsi nous a permis une bonne maitrise de la nouvelle technologie d'EEG numérique, qui répond aux connaissances déjà acquis dans ce domaine.

**Chapitre VI: Analyse et prétraitement  
par MATLAB des résultats de SEEG réels  
pour différents cas d'épilepsie**



## **IV.1 Introduction:**

Cette étude est destinée à l'analyse et prétraitement des résultats et signaux SEEG réels déjà mesurés en partie expérimental pour différentes catégories de malades épileptiques à décodage de ces signaux par logiciel de travail « MATLAB », afin de préciser les gammes des fréquences dans lesquelles apparaissent des anomalies qui représentent les zones épileptogènes.

Donc, notre objectif le plus important de notre étude est de déterminer la valeur moyenne des différents D.D.P, et que décharge le cerveau durant la crise épileptique, et puis procéder à la quantification de l'énergie de décharge correspondante, ceci est pris en compte dans la perspective où nous allons proposer un dispositif expérimental basé sur l'optique électronique, qui est caractérisé par l'absorption de cette énergie sous l'effet d'un rayonnement spécifique.

## **IV.2 Dépouillements des résultats SEEGS (format Excel):**

- Chaque tableau correspond à plusieurs cas (malade).
- Chaque colonne représente un patient épileptique.
- Chaque ligne représente un signal détecté pendant 2.00 ms.
- La dernière colonne de chaque tableau représente la moyenne de chaque ligne.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	FA14301A_1	FA14301A_2	FA14301A_3	FA14301A_4	FA14301A_5	FA14301A_6	FA14301A_7	FA14301A_8	FA14301A_9	m5
2	-79,21	149,77	-110,81	181,37	-2,85	65,18	-6,03	68,36	-185,03	8,972222222
3	-82,39	155,42	-116,31	189,34	-8,2	69,9	-7,61	69,32	-197,1	8,041111111
4	-76,74	160,85	-109,7	193,81	-15,52	71,21	-5,74	61,43	-110,04	18,84
5	-68,89	159,11	-99,64	189,86	-20,65	70,36	-3,75	53,45	-38,48	26,81888889
6	-70	150,63	-95,63	176,26	-17,11	68,94	-5,52	57,35	-67,85	21,89666667
7	-79,61	151,65	-105,62	177,66	-14,47	73,25	-10,57	69,36	-151,21	12,27111111
8	-83,66	156,48	-111,4	184,22	-18,95	79,11	-13,02	73,18	-204,33	6,847777778
9	-77,51	162,39	-104,87	189,75	-27,78	82,94	-11,44	66,61	-120,27	17,75777778
10	-69,26	164,86	-93,01	188,61	-32,37	83,5	-9,34	60,47	-20,88	30,28666667
11	-68,82	164,15	-89,19	184,51	-30,48	83,79	-10,51	63,82	-55,61	26,85111111
12	-78,27	163,69	-98,1	183,52	-26,08	86,81	-14,97	75,7	-179,17	12,57
13	-81,45	173,92	-103,91	196,38	-32,36	93,59	-16,39	77,62	-189,78	13,06888889
14	-75,59	183,22	-97,45	205,08	-40,32	95,69	-13,96	69,33	-103,28	24,74666667
15	-67,43	185	-87,32	204,88	-45,86	94,22	-11,07	59,43	-32,5	33,26111111
16	-68,19	179,23	-83,21	194,25	-42,59	92,05	-11,57	61,03	-62,13	28,76333333
17	-77,41	181,36	-93,07	197,01	-40,22	96,47	-15,15	71,4	-145,15	19,47111111
18	-81,08	186,13	-98,8	203,84	-44,99	101,93	-16,1	73,03	-198,2	13,97333333
19	-74,49	190,86	-92,23	208,6	-54,16	104,08	-13,16	63,08	-118,27	23,81222222
20	-65,88	191,18	-80,68	205,97	-58,83	101,77	-9,51	52,45	-18,9	35,28555556
21	-65,09	187,5	-77,3	199,7	-56,65	99,84	-8,86	52,05	-51,72	31,05222222
22	-74	183,59	-86,27	195,86	-51,59	101,38	-11,34	61,12	-174,45	16,03333333
23	-76,39	190,36	-91,86	205,83	-56,78	106,96	-10,57	60,75	-184,83	15,94111111

**Tableau 1. Enregistrement des SEEG des 9 premiers cas.**

**Tableaux 2:**

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	FA14300Y2_1	FA14300Y2_2	FA14300Y2_3	FA14300Y2_4	FA14300Y2_5	FA14300Y2_6	FA14300Y2_7	FA14300Y2_8	FA14300Y2_9	m3
2	149,56	-32,45	143,97	-26,86	75,47	51,59	149,27	-22,21	-154,79	37,06111111
3	150,39	-31,12	148,14	-28,87	74,24	54,73	148,71	-19,74	-446,5	5,553333333
4	146,96	-30,85	146,94	-30,83	70,2	56,7	145,06	-18,16	-444,66	4,595555556
5	136,34	-27,94	139,73	-31,33	62,39	56,29	135,34	-16,66	-245,71	23,16111111
6	130,41	-24,74	138,32	-32,65	58,1	56,27	129,78	-15,4	-403,48	4,067777778
7	128,62	-20,68	140,77	-32,83	57,25	55,88	128,07	-14,94	-411,2	3,437777778
8	126,66	-17,93	141,34	-32,61	55,74	55,15	126,21	-15,32	-120,76	35,38666667
9	121,67	-15,35	138,66	-32,35	52,22	53,69	122,25	-16,33	-404,53	2,214444444
10	114,27	-12,37	134,27	-32,37	47,52	51,75	116,93	-17,66	-542	-15,51777778
11	108,43	-8,36	131,99	-31,92	44,55	50,14	113,7	-19,01	-263,06	14,05111111
12	104,25	-4,09	131,39	-31,23	43,01	49,1	112,39	-20,28	-150,81	25,97
13	105,68	-1,83	134,36	-30,5	44,21	50,05	115,34	-21,07	-441,2	-4,995555556
14	103,51	-1,28	131,91	-29,68	42,69	51,78	115,8	-21,33	-440,8	-5,266666667
15	94,69	1,19	123,44	-27,56	37,27	53,23	110,61	-20,11	-241,24	14,61333333
16	91,05	3,22	120,93	-26,66	35,18	57,23	109,87	-17,47	-399,21	-2,873333333
17	92	5,44	122,14	-24,7	36,34	62,76	112,94	-13,84	-408,69	-1,734444444
18	93,16	5,79	121,13	-22,19	36,78	69,43	115,67	-9,46	-118,83	32,38666667
19	91,76	5,6	116,9	-19,53	35,18	76,29	115,99	-4,53	-401,61	1,783333333
20	88,16	5,64	110,93	-17,14	32,18	82,85	114,17	0,86	-540,73	-13,67555556
21	86,11	6,74	107,21	-14,36	30,72	89,09	113,44	6,37	-262,61	18,07888889
22	20,02	-47,33	23,51	-50,83	7,95	-5,48	16,07	-13,6	-73,12	-13,64555556
23	19,99	-50,13	25,8	-55,94	8,93	-7,09	20,14	-18,3	-56,6	-12,57777778

**Tableau 2. Enregistrement des SEEG de la deuxième liste des patients.**

**Tableau 3:**

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	FA14300M9_1	FA14300M9_2	FA14300M9_3	FA14300M9_4	FA14300M9_5	FA14300M9_6	FA14300M9_7	FA14300M9_8	FA14300M9_9	m1
2	-26,51	18,2	-50,64	42,33	-58,85	88,41	-37,32	66,88	-311,59	-29,89888889
3	-26,87	21,96	-50,6	45,69	-59,82	89,55	-35,82	65,55	-367,08	-35,27111111
4	-28,04	21,84	-54,1	47,9	-64,74	92,83	-42,92	71,01	-283,01	-26,58111111
5	-27,8	22,65	-54,23	49,08	-66,32	93,71	-46,59	73,99	-138,51	-10,44666667
6	-26,42	26,13	-50,86	50,58	-63,87	91,46	-43,01	70,61	-192,89	-15,36333333
7	-24,21	30,63	-45,41	51,83	-58,92	87,28	-33,58	61,94	-341,94	-30,26444444
8	-24,21	29,46	-46,16	51,42	-60,49	87,75	-33,35	60,61	-362,64	-33,06777778
9	-24,19	24,93	-48,19	48,93	-64,08	88,42	-38,77	63,12	-255,12	-22,77222222
10	-23,88	19,58	-49,73	45,43	-66,83	87,42	-45,05	65,63	-166,71	-14,90444444
11	-21,48	18,31	-45,55	42,37	-63,24	81,11	-40,7	58,57	-199,45	-18,89555556
12	43,22	32,16	111,88	-36,5	122,81	-130,89	149,22	-157,3	79,3	23,76666667
13	42,01	34,9	111,72	-34,8	123,59	-132,55	148,38	-157,34	45,51	20,15777778
14	41,52	39,65	113,99	-32,82	126,82	-135,99	153,57	-162,73	-30,73	12,58666667
15	38,89	39,87	110,29	-31,53	123,97	-134,45	150,58	-161,06	-45,86	10,07777778
16	36,37	37,31	105,13	-31,45	118,49	-131,36	141,24	-154,1	25,71	16,37111111
17	34,57	34,93	101,22	-31,72	113,73	-129,18	131	-146,45	77,22	20,59111111
18	34,88	36,19	103,23	-32,16	114,98	-131,81	130,88	-147,71	46,42	17,21111111
19	34,93	37,94	105,54	-32,66	117,15	-134,71	135,14	-152,7	-32,35	8,69777778
20	33,67	35,89	103,66	-34,1	114,75	-133,92	132,73	-151,9	-40,76	6,66888889
21	31,25	30,96	98,06	-35,84	108,32	-130,05	121,71	-143,43	26,49	11,94111111
22	29,97	27,76	95,32	-37,59	104,86	-128,8	113,54	-137,47	75,15	15,86
23	29,55	28,4	95,96	-38,01	105,69	-131,02	113,08	-138,41	40,98	11,80222222

*Tableau 3. Enregistrement des SEEG du troisième listes de patient.*

### IV. 3 Analyse et prétraitement des SEEG codes par Logiciel Matlab:

Les neuroscientifiques utilisent MATLAB et Simulink pour traiter et analyser des données expérimentales, mener des expériences et simuler des modèles de circuits cérébraux. Avec MATLAB et Simulink, vous pouvez:

- Analyser des **données de séries temporelles neuronales** à partir d'enregistrements de signaux d'électrode
- Comprendre des images **structurelles et fonctionnelles** issues d'études par imagerie cérébrale et microscopie
- Utiliser **le Machine Learning et le Deep Learning** pour effectuer des tâches de classification, de prédiction et de clustering en utilisant des modèles entraînés avec des données neuroscientifiques

- Traiter et générer des flux de données temps réel, provenant de systèmes de **contrôle comportemental et d'interface cerveau-machine (ICM)**

Les neuroscientifiques qui utilisent MATLAB peuvent également accéder à une vaste bibliothèque [d'outils tiers](#) conçus spécialement pour des applications en neurosciences. Ces outils incluent notamment des toolboxes communautaires libres de droit et des produits commerciaux de partenaires qui offrent une connectivité au hardware et au cloud.

### Exploitation des Séries temporelles neuronales:

Nous avons utilisé MATLAB pour visualiser et analyser des séries temporelles issues d'électro-encéphalogrammes SEEG réels. Nous avons ainsi effectué un prétraitement et une extraction des caractéristiques des données dans les domaines temporels, fréquentiels et temps-fréquence avec des algorithmes MATLAB par les commandes moyennes et FTT et des applications interactives pour le traitement des signaux et pour l'analyse par ondelettes.

Ce prétraitement par MATLAB nous a permis d'avoir les résultats suivants:

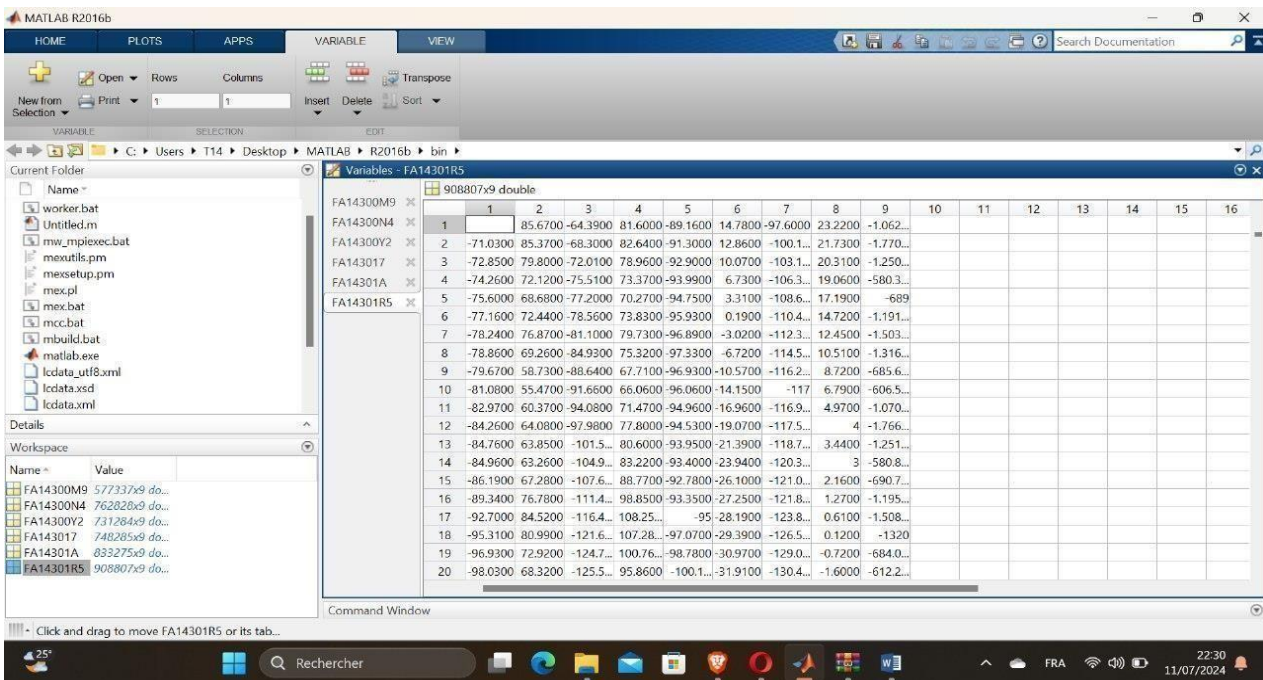


Tableau 4. Exploitation du tableau 1 dans Matlab.

Tableau des données pour FA14301A (833275x9 double):

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1		149.77...	-110.8...	181.37...	-2.8500	65.1800	-6.0300	68.3600	-185.0...							
2	-82.3900	155.42...	-116.3...	189.34...	-8.2000	69.9000	-7.6100	69.3200	-197.1...							
3	-76.7400	160.85...	-109.7...	193.81...	-15.5200	71.2100	-5.7400	61.4300	-110.0...							
4	-68.8900	159.11...	-99.6400	189.86...	-20.6500	70.3600	-3.7500	53.4500	-38.4800							
5	-70	150.63...	-95.6300	176.26...	-17.1100	68.9400	-5.5200	57.3500	-67.8500							
6	-79.6100	151.65...	-105.6...	177.66...	-14.4700	73.2500	-10.5700	69.3600	-151.2...							
7	-83.6600	156.48...	-111.4...	184.22...	-18.9500	79.1100	-13.0200	73.1800	-204.3...							
8	-77.5100	162.39...	-104.8...	189.75...	-27.7800	82.9400	-11.4400	66.6100	-120.2...							
9	-69.2600	164.86...	-93.0100	188.61...	-32.3700	83.5000	-9.3400	60.4700	-20.8800							
10	-68.8200	164.15...	-89.1900	184.51...	-30.4800	83.7900	-10.5100	63.8200	-55.6100							
11	-78.2700	163.69...	-98.1000	183.52...	-26.0800	86.8100	-14.9700	75.7000	-179.1...							
12	-81.4500	173.92...	-103.9...	196.38...	-32.3600	93.5900	-16.3900	77.6200	-189.7...							
13	-75.5900	183.22...	-97.4500	205.08...	-40.3200	95.6900	-13.9600	69.3300	-103.2...							
14	-67.4300	185	-87.3200	204.88...	-45.8600	94.2200	-11.0700	59.4300	-32.5000							
15	-68.1900	179.23...	-83.2100	194.25...	-42.5900	92.0500	-11.5700	61.0300	-62.1300							
16	-77.4100	181.36...	-93.0700	197.01...	-40.2200	96.4700	-15.1500	71.4000	-145.1...							
17	-81.0800	186.13...	-98.8000	203.84...	-44.9900	101.93...	-16.1000	73.0300	-198.2...							
18	-74.4900	190.86...	-92.2300	208.60...	-54.1600	104.08...	-13.1600	63.0800	-118.2...							
19	-65.8800	191.18...	-80.6800	205.97...	-58.8300	101.77...	-9.5100	52.4500	-18.9000							
20	-65.0900	187.50...	-77.3000	199.70...	-56.6500	99.8400	-8.8600	52.0500	-51.7200							

Tableau 5. Exploitation du tableau 2 dans Matlab.

Tableau des données pour FA143017 (748285x9 double):

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1		-4.9900	-11.1500	-22.6200	41.5800	-54.3200	2.3600	-15.1100	806.58...							
2	-26.2700	-5.4600	-8.4300	-23.3000	45.7000	-54.4600	4.7300	-13.4900	972.96...							
3	-25.7100	-6.2100	-6.4800	-25.4400	47.8500	-55.2600	6.4900	-13.8900	1.0532...							
4	-23.7200	-6.7500	-4.0700	-26.4000	47.9300	-53.6900	7.8200	-13.5800	606.33...							
5	-20.0500	-6.9900	-1.4000	-25.6400	46.8800	-48.8900	8.8500	-10.8600	722.13...							
6	-15.9600	-6.9200	1.8400	-24.7100	49.0600	-45.2800	11.1100	-7.3400	1.1064...							
7	-13.9800	-7.1700	4.2100	-25.3700	52.2300	-44.3900	13.4000	-5.5700	1.1425...							
8	-14.1300	-7.7400	5.7700	-27.6300	55.1700	-45.3600	15.5000	-5.6900	525.40...							
9	-14.1600	-8.2900	6.1500	-28.6000	52.7900	-42.3200	15.3600	-4.8900	880.67...							
10	-12.3300	-7.7800	7.3100	-27.4200	51.6800	-38.1800	15.5200	-2.0200	974.25...							
11	-11.0900	-7.0900	7.9100	-26.0900	50.8200	-34.2100	15.4300	1.1800	798.19...							
12	-11.7200	-6	8.0800	-25.8000	53.0300	-34.4000	16.1000	2.5300	967.61...							
13	-15.0900	-4.9400	6.6000	-26.6200	52.7300	-35.5700	15.5500	1.6100	1042							
14	-17.3500	-3.3200	5.1200	-25.7900	50.2600	-34.0100	14.3700	1.8800	595.22...							
15	-18.0100	-1.2200	3.7000	-22.9300	46.6300	-29.9900	12.8400	3.8000	714.33...							
16	-18.1000	1.4900	2.8900	-19.5000	46.2500	-27.3000	12.5800	6.3700	1.0994...							
17	-19.8800	4.5600	1.6500	-16.9600	47.3500	-26.7500	12.7700	7.8200	1.1347...							
18	-23.2000	7.4700	-0.0400	-15.7000	49.0800	-26.7300	13.5200	8.8200	517.92...							
19	-25.9400	10.0100	-2.4500	-13.4900	46.1900	-22.2300	12.6900	11.2600	871.81...							
20	-26.2400	13.0300	-3.6200	-9.6000	45.1500	-17.1800	12.6500	15.3200	965.18...							

Tableau 6. Exploitation du Tableau 3 dans Matlab.

**Résultats après traitement :**

	A	B	C	D	E	F
480	8.333000591990249450e-01	1.000000000000000000e+00				
481	8.350361009890230335e-01	1.000000000000000000e+00				
482	8.367721427790210109e-01	1.000000000000000000e+00				
483	8.385081845690188773e-01	1.000000000000000000e+00				
484	8.402442263590169658e-01	1.000000000000000000e+00				
485	8.419802681490147211e-01	1.000000000000000000e+00				
486	8.437163099390128096e-01	1.000000000000000000e+00				
487	8.454523517290108980e-01	1.000000000000000000e+00				
488	8.471883935190086534e-01	1.000000000000000000e+00				
489	8.489244353090067419e-01	1.000000000000000000e+00				
490	8.506604770990046083e-01	1.000000000000000000e+00				
491	8.523965188890026967e-01	1.000000000000000000e+00				
492	8.541325606790006741e-01	1.000000000000000000e+00				
493	8.558686024689985405e-01	1.000000000000000000e+00				
494	8.576046442589966290e-01	1.000000000000000000e+00				
495	8.593406860489946064e-01	1.000000000000000000e+00				
496	8.610767278389926949e-01	1.000000000000000000e+00				
497	8.628127696289905613e-01	1.000000000000000000e+00				
498	8.645488114189884277e-01	1.000000000000000000e+00				
499	8.662848532089864051e-01	1.000000000000000000e+00				
500	8.680208949989842715e-01	1.000000000000000000e+00				

Tableau 7 : Résultats après traitement du groupe 1

	A	B	C	D	E	F
1	1.736041789997968751e-03	0.0000000000000000e+00				
2	3.472083579995937069e-03	0.0000000000000000e+00				
3	5.208125369993905386e-03	0.0000000000000000e+00				
4	6.944167159991875005e-03	0.0000000000000000e+00				
5	8.680208949989843756e-03	0.0000000000000000e+00				
6	1.041625073998781251e-02	0.0000000000000000e+00				
7	1.215229252998577952e-02	0.0000000000000000e+00				
8	1.388833431998375001e-02	0.0000000000000000e+00				
9	1.562437610998171876e-02	0.0000000000000000e+00				
10	1.736041789997968751e-02	0.0000000000000000e+00				
11	1.909645968997765453e-02	0.0000000000000000e+00				
12	2.083250147997562501e-02	0.0000000000000000e+00				
13	2.256854326997359550e-02	0.0000000000000000e+00				
14	2.430458505997155905e-02	0.0000000000000000e+00				
15	2.604062684996953300e-02	0.0000000000000000e+00				
16	2.777666863996750002e-02	0.0000000000000000e+00				
17	2.951271042996547050e-02	0.0000000000000000e+00				
18	3.124875221996344099e-02	0.0000000000000000e+00				
19	3.298479400996140454e-02	0.0000000000000000e+00				
20	3.472083579995937502e-02	0.0000000000000000e+00				
21	3.645687758995735245e-02	0.0000000000000000e+00				

Tableau 8 : Résultats après traitement du groupe 2

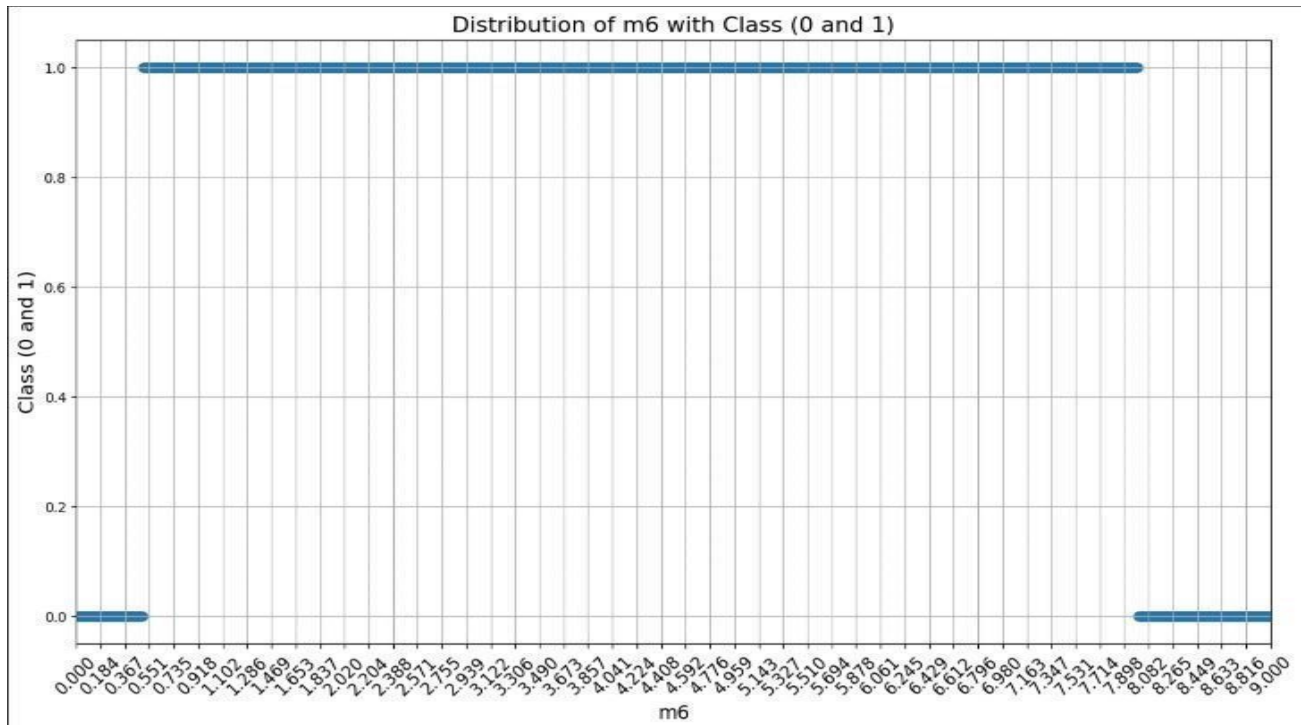
	A	B	C	D	E	F
1	1.321677896523194059e-03	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00
2	2.643355793046388118e-03	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00
3	3.965033689569583478e-03	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00
4	5.286711586092776236e-03	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00
5	6.608389482615970728e-03	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00
6	7.930067379139165221e-03	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00
7	9.251745275662359713e-03	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00
8	1.057342317218555247e-02	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00
9	1.189510106870874523e-02	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00
10	1.321677896523193972e-02	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00
11	1.453845686175513595e-02	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00
12	1.586013475827833044e-02	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00
13	1.718181265480152320e-02	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00
14	1.850349055132471943e-02	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00
15	1.982516844784791218e-02	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00
16	2.114684634437110494e-02	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00
17	2.246852424089430117e-02	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00
18	2.379020213741749046e-02	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00
19	2.511188003394068669e-02	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00
20	2.643355793046387944e-02	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00
21	2.775523582698707567e-02	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00	0.000000000000000000e+00

Tableau 9 : Résultats après traitement du groupe 3



	A	B	C	D	E	F
374	4.943075332996745841e-01	0.000000000000000000e+00				
375	4.956292111961977387e-01	0.000000000000000000e+00				
376	4.969508890927209488e-01	0.000000000000000000e+00				
377	4.982725669892441589e-01	0.000000000000000000e+00				
378	4.995942448857673690e-01	0.000000000000000000e+00				
379	5.009159227822905791e-01	1.000000000000000000e+00				
380	5.022376006788137337e-01	1.000000000000000000e+00				
381	5.035592785753369993e-01	1.000000000000000000e+00				
382	5.048809564718601539e-01	1.000000000000000000e+00				
383	5.062026343683833085e-01	1.000000000000000000e+00				
384	5.075243122649065741e-01	1.000000000000000000e+00				
385	5.088459901614297287e-01	1.000000000000000000e+00				
386	5.101676680579528833e-01	1.000000000000000000e+00				
387	5.114893459544761489e-01	1.000000000000000000e+00				
388	5.128110238509993035e-01	1.000000000000000000e+00				
389	5.141327017475225691e-01	1.000000000000000000e+00				
390	5.154543796440457237e-01	1.000000000000000000e+00				
391	5.167760575405688783e-01	1.000000000000000000e+00				
392	5.180977354370921439e-01	1.000000000000000000e+00				
393	5.194194133336152985e-01	1.000000000000000000e+00				
394	5.207410912301384531e-01	1.000000000000000000e+00				

Tableau 10 : Résultats après traitement du groupe 4



**Figure 18 : résultats d'analyse fréquentiel groupe m6**

la figures 18 montre l'apparition d'une onde ( pique )d'une fréquence qui correspond à un rythme de type  $\delta$  (0,5–4 Hz) il s'agit bien d'un type d'épilepsie qui est couramment connu chez les jeunes enfants moins d'un an et qui se caractérise par un sommeil profond et présent probablement dans les états de faiblesse. Cette onde est très lente et généralementa une amplitude importante.

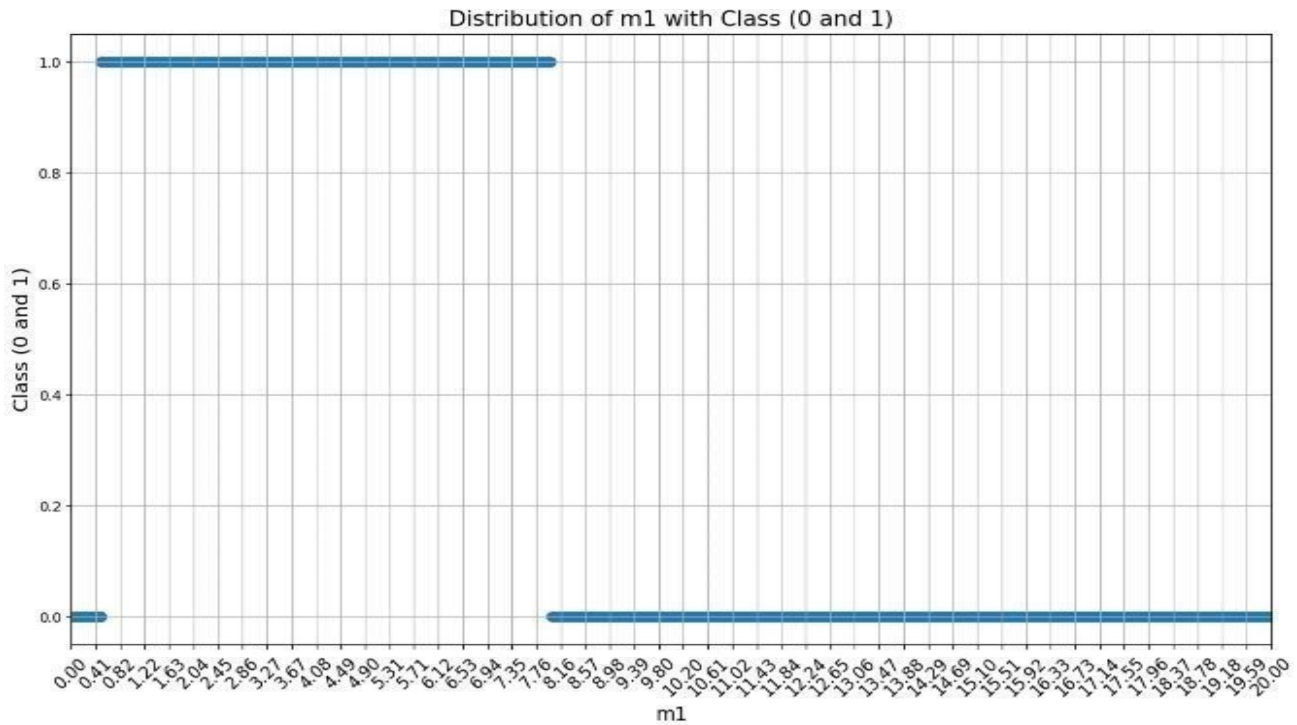


Figure 19 : résultats d'analyse fréquentiel groupe  $m_1$

la figures 19 montre l'apparition d'une onde ( pique )d'une fréquence qui correspond à un rythme de type  $\delta$  (**0,5–4 Hz**) il s'agit bien d'un type d'épilepsie qui est couramment connu chez les jeunes enfants moins d'un an et qui se caractérise par un sommeil profond et présent probablement dans les états de faiblesse. Cette onde est très lente et généralement a une amplitude importante.

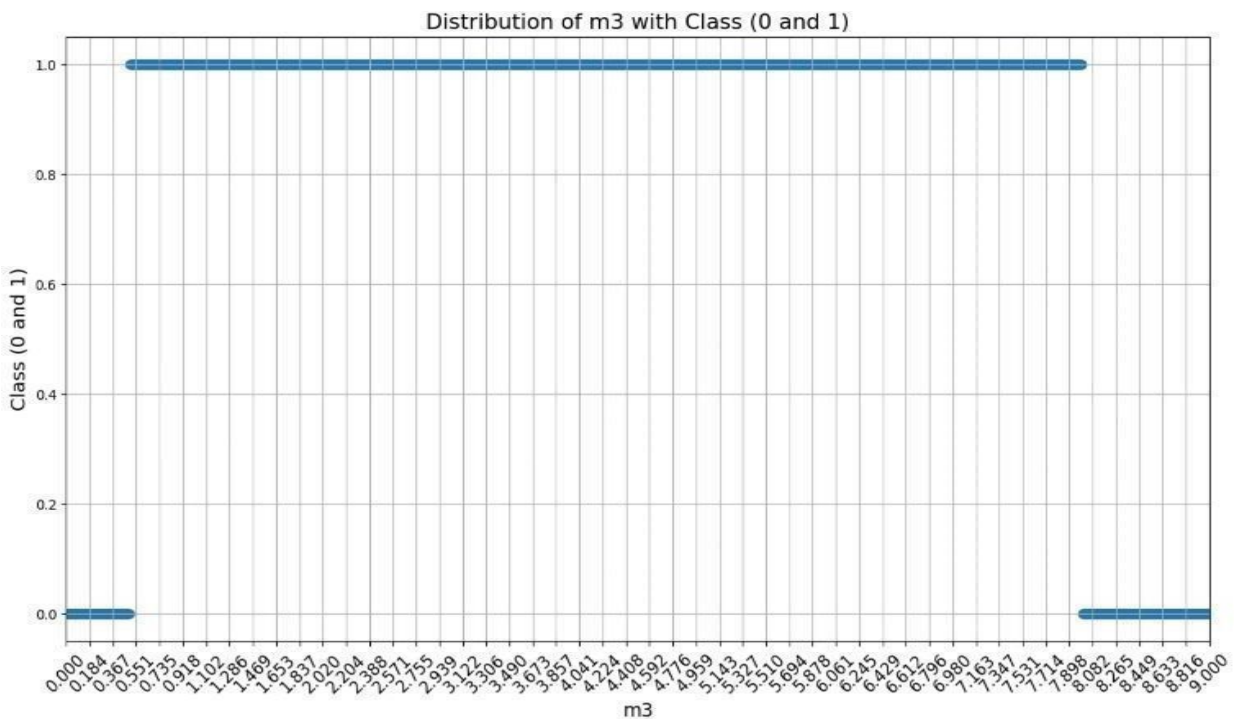
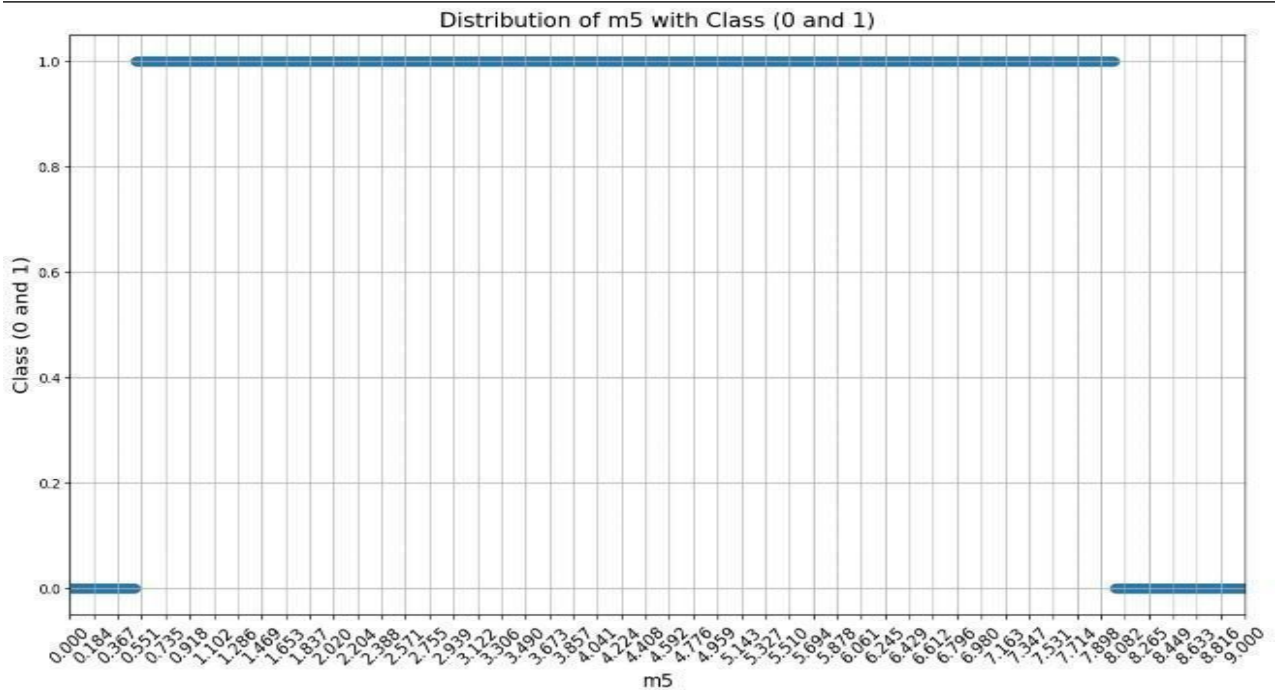


Figure 20 : résultats d'analyse fréquentiel groupe  $m_4$

La figure 20 montre l'apparition d'une onde (pique) d'une qui correspond { un rythme de type **Rythme  $\theta$  (4-8 Hz)**. Ce dernier apparaît durant le sommeil ou les périodes de concentration. Quelques travaux ont localisé une activité thêta, induit par des tâches de calcul mental, sur la ligne centrale du lobe frontal [Mizuki *et al.*, 1980]. Ce type de rythme peut aussi apparaître pendant la méditation [Hebert et Lehmann, 1977] et lors des processus de mémorisation [Yamaguchi *et al.*, 2007]. Il est fréquent chez les enfants jusqu'à 13 ans. La présence d'un rythme thêta abondant ou asymétrique chez l'adulte éveillé est anormal [Vespignani, 1998] et il est couramment rencontré dans les épilepsies du lobe temporal.



**Figure 21: résultats d'analyse fréquentiel groupe m5**

La figure 21 montre l'apparition d'une onde (pique) d'une qui correspond { un rythme de type **Rythme  $\theta$  (4-8 Hz)**. Ce dernier apparaît durant le sommeil ou les périodes de concentration. Quelques travaux ont localisé une activité thêta, induit par des tâches de calcul mental, sur la ligne centrale du lobe frontal [Mizuki *et al.*, 1980]. Ce type de rythme peut aussi apparaître pendant la méditation [Hebert et Lehmann, 1977] et lors des processus de mémorisation [Yamaguchi *et al.*, 2007]. Il est fréquent chez les enfants jusqu'à 13 ans. La présence d'un rythme thêta abondant ou asymétrique chez l'adulte éveillé est anormal [Vespignani, 1998] et il est couramment rencontré dans les épilepsies du lobe temporal.

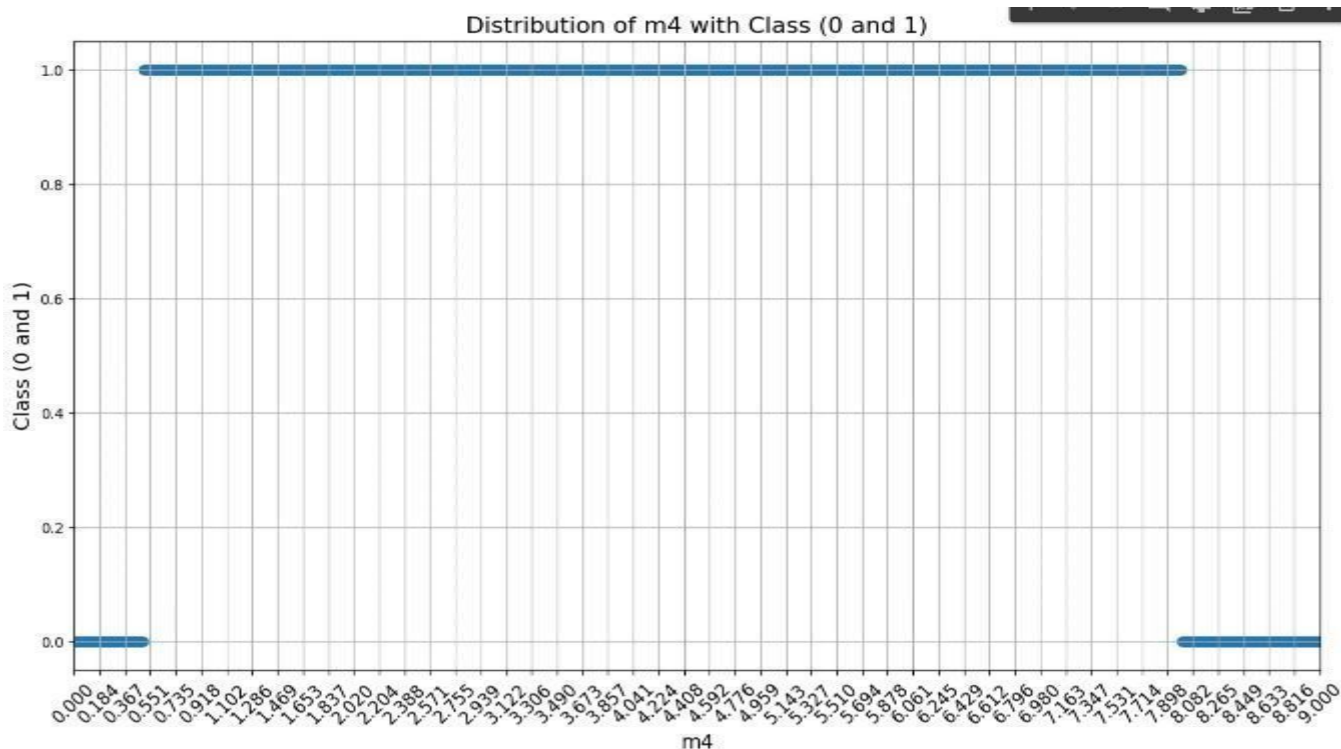


Figure 22: résultats d'analyse fréquentiel groupe m<sub>4</sub>

La figure 22 montre l'apparition d'une onde (pique) d'une qui correspond { un rythme de type **Rythme  $\theta$  (4–8 Hz)**. Ce dernier apparaît durant le sommeil ou les périodes de concentration. Quelques travaux ont localisé une activité thêta, induit par des tâches de calcul mental, sur la ligne centrale du lobe frontal [Mizuki *et al.*, 1980]. Ce type de rythme peut aussi apparaître pendant la méditation [Hebert et Lehmann, 1977] et lors des processus de mémorisation [Yamaguchi *et al.*, 2007]. Il est fréquent chez les enfants jusqu'à 13 ans. La présence d'un rythme thêta abondant ou asymétrique chez l'adulte éveillé est anormal [Vespignani, 1998] et il est couramment rencontré dans les épilepsies du lobe temporal.

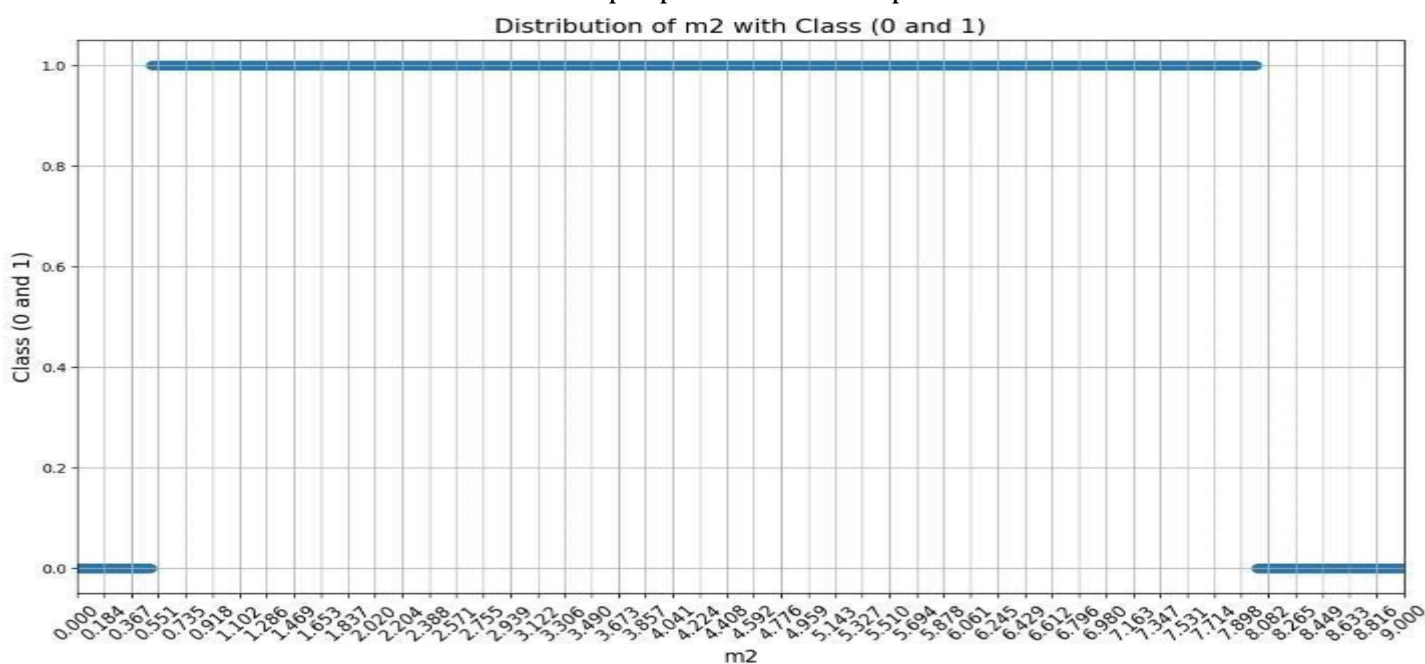


Figure 23: résultats d'analyse fréquentiel groupe m<sub>2</sub>

La figure 23 montre l'apparition d'une onde (pique) d'une qui correspond { un rythme de type **Rythme  $\theta$  (4–8 Hz)**. Ce dernier apparaît durant le sommeil ou les périodes de concentration. Quelques travaux ont localisé une activité thêta, induit par des tâches de calcul mental, sur la ligne centrale du lobe frontal [Mizuki *et al.*, 1980]. Ce type de rythme peut aussi apparaître pendant la méditation [Hebert et Lehmann, 1977] et lors des processus de mémorisation [Yamaguchi *et al.*, 2007]. Il est fréquent chez les enfants jusqu'à 13 ans. La présence d'un rythme thêta abondant ou asymétrique chez l'adulte éveillé est anormal [Vespignani, 1998] et il est couramment rencontré dans les épilepsies du lobe temporal.

## Conclusion :

Dans ce dernier chapitre, nous avons exploiter les résultats des SEEG enregistrer et codés en effectuant un prétraitement par logiciel de travail Matlab afin de trouver les gammes de fréquences des ondes correspondantes les différents cas d'épilepsie. Les résultats obtenus font apparaitre deux types de rythmes cérébraux (  $\delta$  ,  $\theta$  ) qui sont plus fréquent chez les enfants, et se caractérisent par :

- l'apparition d'une onde { une fréquence qui correspond { un rythme de type  **$\delta$  (0,5-4 Hz)**, il s'agit bien d'un type d'épilepsie qui est couramment connu chez les jeunes enfants moins d'un an et qui se caractérise par un sommeil profond et présent probablement dans les états de faiblesse. Cette onde est très lente et généralement a une amplitude importante.
- l'apparition d'une onde (pique) d'une qui correspond { un rythme de type **Rythme  $\theta$  (4-8 Hz)**. Ce dernier apparaît durant le sommeil ou les périodes de concentration. Quelques travaux ont localisé une activité thêta, induite par des tâches de calcul mental, sur la ligne centrale du lobe frontal [Mizuki *et al.*, 1980]. Ce type de rythme peut aussi apparaître pendant la méditation [Hebert et Lehmann, 1977] et lors des processus de mémorisation [Yamaguchi *et al.*, 2007]. Il est fréquent chez les enfants jusqu'à 13 ans. La présence d'un rythme thêta abondant ou asymétrique chez l'adulte éveillé est anormal [Vespignani, 1998] et il est couramment rencontré dans les épilepsies du lobe temporal.

En fin , notre étude nous a permis des résultats satisfaisants vis { vis l'objectif de notre étude.

## **Conclusion générale**



## Conclusion générale

### Conclusion générale

L'épilepsie a été toujours un sujet qui préoccupe plusieurs spécialistes médicaux mais aussi des chercheurs en différents spécialités technologiques.

L'avancée des recherches clinique dans différents hôpitaux dans le monde entier a permis de mieux diagnostiquer la maladie de l'épilepsie mais aussi de mettre entre les mains des chercheurs universitaires surtout Neurophysiologistes un préambule pour le développement d'appareillage qui a permis aux médecins surtout Neurologue de mieux diagnostiquer l'épilepsie, et encore mieux prévenir les crises et évaluer leur intensité.

L'avancée de la technologie doit être en parallèle { l'avancée des recherches cliniques, ce qui permettra sûrement de trouver un traitement curatif pour l'épilepsie.

A cette effet notre projet de fin d'étude rentre dans cette perspective, afin de participer aux efforts des différentes équipes pluridisciplinaires qui nous ont précédé dans la recherche sur l'Épilepsie.

En premier nous nous sommes intéressés à faire un bilan ou analyse bibliographique sur l'épilepsie de point de vue application que fondamentale

Ensuite nous avons présenter des généralités sur l'anatomie et physiologie de cette maladie , cet partie repose légèrement sur certaines connaissances déjà acquises durant le cursus universitaire

Une etude experimentale satisfaisante a ete effectuer au sein l hopital pediatrique de Al abiar , nous a permis de voir de pres les differentes techniques developpes de diagnostic de l epilipsie Dans ce dernier chapitre, nous avons exploiter les résultats des SEEG enregistrer et codés en effectuant un prétraitement par logiciel de travail Matlab afin de trouver les gammes de fréquences des ondes correspondantes les différents cas d'épilepsie. Les résultats obtenus font apparaître deux types de rythmes cérébraux (  $\delta$  ,  $\theta$  ) qui sont plus fréquent chez les enfants, et se caractérisent par :

- l'apparition d'une onde { une fréquence qui correspond { un rythme de type  **$\delta$  (0,5-4 Hz)**, il s'agit bien d'un type d'épilepsie qui est couramment connu chez les jeunes enfants moins d'un an et qui se caractérise par un sommeil profond et présent probablement dans les états de faiblesse. Cette onde est très lente et généralement a une amplitude importante.
- l'apparition d'une onde (pique) d'une qui correspond { un rythme de type **Rythme  $\theta$  (4-8 Hz)**. Ce dernier apparaît durant le sommeil ou les périodes de concentration. Quelques travaux ont localisé une activité thêta, induite par des tâches de calcul mental,

## Conclusion générale

sur la ligne centrale du lobe frontal [Mizuki *et al.*, 1980]. Ce type de rythme peut aussi apparaître pendant la méditation [Hebert et Lehmann, 1977] et lors des processus de mémorisation [Yamaguchi *et al.*, 2007]. Il est fréquent chez les enfants jusqu'à 13 ans. La présence d'un rythme thêta abondant ou asymétrique chez l'adulte éveillé est anormal [Vespignani, 1998] et il est couramment rencontré dans les épilepsies du lobe temporal.

Tous les résultats et effort seront à coût sur au plaisir pour la communauté des épileptiques.  
En fin , notre étude nous a permis des résultats satisfaisants vis à vis l'objectif prévu.

## **Références bibliographiques**

- [Revue Fédération pour la Recherche sur le Cerveau] (F.R.C) : l'épilepsie  
<https://www.frcneurodon.org/comprendre-le-cerveau/le-cerveau-malade-et-ses-maladies-neurologiques/lepilepsie/#:~:text=L'%C3%A9pilepsie%20est%20une%20maladie,prennent%20des%20formes%20tr%C3%A8s%20diverses>
- [Revue\_ Fondation Recherche Médicale] : Tous savoir sur l'épilepsie <https://www.frm.org/recherches-maladies-neurologiques/epilepsie/focus-epilepsie>
- [Revue Inserm] : Epilepsie un ensemble de maladies complexe, encore mal compris <https://www.inserm.fr/dossier/epilepsie/>
- [Revue Sanofi] : Comprendre l'épilepsie pour en finir avec les préjugés <https://www.sanofi.fr/fr/Actualites/nos-actualites/comprendre-l-epilepsie-pour-en-finir-avec-les-prejuges>
- [Revue Fondation Hospices Civils de Lyon]: Épilepsie : les symptômes, traitements et avancées de la recherche : <https://fondationhcl.fr/notre-action/recherche-et-innovation/informations-sur-les-maladies-et-la-recherche-medicale/epilepsie-les-symptomes-traitements-et-avancees-de-la-recherche/>
- [Revue CHU Toulouse] : Epilepsie : <https://www.chu-toulouse.fr/-definitions-de-l-epilepsie->
- [Revue CHU de Bordeaux] : L'épilepsie  
<https://www.chu-bordeaux.fr/Espacm%C3%A9dia/Actualit%C3%A9s/ARCHIVES-ACTUALITES-2017/L-%C3%A9pilepsie/>
- [Revue CHU Vaudois]: Rapport sur l'Epileptie CHUV Epilepsy Website on Diagnosis and Treatment of the Neurological Disease : <https://www.chuv.ch/fr/neurologie/nlg-home/patients-et-familles/maladies-traitees/epilepsie>
- [Revue Hôpital de Montréal pour enfants ]: 12 mythes et idées fausses répandus concernant l'épilepsie  
<https://www.hopitalpourenfants.com/infos-sante/pathologies-et-maladies/12-mythes-et-idees-fausses-repandus-concernant-lepilepsie>
- [Revue CNRS ]: Épilepsie : une nouvelle piste thérapeutique identifiée  
<https://www.inc.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/epilepsie-une-nouvelle-piste-therapeutique-identifiee>
- [Revue Les Echos] : Enfin une piste pour expliquer l'épilepsie  
<https://www.lesechos.fr/2014/06/enfin-une-piste-pour-expliquer-lepilepsie-1102837>
- (REVUE F.R.C) : LA NEUROMODULATION PAR ULTRASON : UN ESPOIR POUR LE TRAITEMENT DE L'ÉPILEPSIE

[HTTPS://WWW.FRCNEURODON.ORG/INFORMER-SUR-LA-RECHERCHE/ACTUS/LA-NEUROMODULATION-PAR-ULTRASONS-UN-ESPOIR-POUR-LE-TRAITEMENT-DE-LEPILEPSIE/](https://www.frcneurodon.org/informer-sur-la-recherche/actus/la-neuromodulation-par-ultrasons-un-espoir-pour-le-traitement-de-lepilepsie/)

- [Revue La Croix] :<https://www.la-croix.com/Actualite/France/Les-chercheurs-francais-proposent-un-modele-mathematique-de-l-epilepsie-2014-06-12-1163373>
- [Revue Santelog] :<https://www.santelog.com/actualites/epilepsie-nouveaux-mecanismes-nouveaux-traitements>
- [Revue de l'Institut du Cerveau Mondial(ICM)] :  
<https://institutducerveau.org/fiches-maladies/lepilepsie>
- BOUZIANE Nor Elhouda BAIDA Fatima Zouhra, ANALYSE DES SIGNAUX EEG PAR ONDELETTES , mémoire MASTER , Biskra , 2013 .
- Traiter le signal EEG pour soigner l'épilepsie .
- [Adam et al., 2000] ADAM, C., ARZIMANOGLU, A., BAULAC, M., BENDRIEM, B., BIRABEN, A., CHIRON, C., DUPONT, S., HIRSCH, E., MARESCAUX, C., SEMAH, F., de ST MARTIN, A., SPELLE, L. et D., T. (2000). Epilepsies : de la clinique aux examens complémentaires (Tome 1). Expressions Santé Éditions
- [Alliance-Canadienne-de-l'épilepsie, 2009] ALLIANCE-CANADIENNE-DE-L'ÉPILEPSIE(2009). Stimulation du nerf vague. .
- [Amicus-Visual-Solutions, 2009] AMICUS-VISUAL-SOLUTIONS (2009). Lobes of the brain.
- [Arnhold et al., 1999] ARNHOLD, J., GRASSBERGER, P., LEHNERTZ, K. et ELGER, C. (1999). A robust method for detecting interdependences : application to intracranially recorded EEG. Physica D.
- [Asano et al., 2005] ASANO, E., JUHÁSZ, C., SHAH, A., MUZIK, O., CHUGANI, D., SHAH, J., SOOD, S. et CHUGANI, H. (2005). Origin and propagation of epileptic spasms delineated on electrocorticography. Epilepsia,.
- [Astolfi et al., 2006a] ASTOLFI, L., CINCOTTI, F., MATTIA, D., de VICO FALLANI, F., S. S., URSINO, M., ZAVAGLIA, M., , MARCIANI, M. et BABILONI, F. (2006a). Estimation of the cortical connectivity patterns during the intention of limb movements. IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine.
- [Bancaud et al., 1973] BANCAUD, J., TALAIRACH, J., GEIER, S. et SCARABIN, J. (1973). EEG et SEEG dans les tumeurs cérébrales et l'épilepsie. Paris : Édifor.

- [Bartolomei et al., 1999] BARTOLOMEI, F., WENDLING, F., VIGNAL, J., KOCHEN, S., BEL LANGER, J., BADIER, J., LE BOUQUIN-JEANNES, R. et CHAUVEL, P. (1999). Seizures of

- temporal lobe epilepsy : identification of subtypes by coherence analysis using stereo-electro-encephalography. *Clinical Neurophysiology* .
- [Berger, 1929] BERGER, H. (1929). Über das Elektrenkephalogramm des Menschen. *Archive für Psychiatrie und Nervenkrankheiten*, 87:527–570.
  - [Binnie et al., 2003] BINNIE, C., COOPER, R. et MAUGUIERE, F. (2003). *Clinical Neurophysiology*. Elsevier.
  - [Caparos et al., 2006] CAPAROS, M., LOUIS, V., WENDLING, F., MAILLARD, L. et WOLF, D. (2006). Automatic lateralization of temporal lobe epilepsy based on scalp EEG. *Clinical Neurophysiology*.
  - [Churchland et Sejnowski, 1988] CHURCHLAND, P. et SEJNOWSKI, T. (1988). Perspectives on cognitive neuroscience. *Science*.
  - [Deuschl et Eisen, 2002] DEUSCHL, G. et EISEN, A. (2002). *Guide pratique de neurophysiologie clinique : Recommandations de la Fédération Internationale de Neurophysiologie Clinique*. Elsevier.
  - [di neurofisiopatologia, 2009] di NEUROFISIOPATOLOGIA, T. (2009). *Corticografia* .
  - [Dien, 1998] DIEN, J. (1998). Issues in the application of the average reference : review, critiques and recommendations. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*.
  - [e-community, 2009] E-COMMUNITY (2009). *Cuchillo de rayos gamma (gamma knife)* .
  - [Eating-Disorder-Institute, 2009] EATING-DISORDER-INSTITUTE (2009). *Eating disorder* .
  - [Eichler, 2006] EICHLER, M. (2006). On the evaluation of information flow in multivariate systems by the directed transfer function. *Biological cybernetics* .
  - [FFRE, 2009] FFRE (2009). *Fondation française pour la recherche sur l'épilepsie* .
  - [Fisch, 1999] FISCH, B. (1999). *Fisch and Spehlmann's EEG Primer : Basic principles of digital and analog EEG*. Elsevier.
  - [Fisher et al., 2005] FISHER, R., van EMDE BOAS, W., BLUME, W. Elger, C., GENTON, P., LEE, P. et ENGEL JR, J. (2005). Epileptic seizures and epilepsy : definition proposed by the ILAE and the IBE. *Epilepsia* ,
  - [Fondation-Louis-Jeantet, 2009] FONDATION-LOUIS-JEANTET (2009). *Magnétoencephalographie*.
  - [Franaszczuk et Bergey, 1998] FRANASZCZUK, P. et BERGEY, G. (1998). Application of the directed transfer function method to mesial and lateral onset temporal lobe seizures. *Brain Topography*.
  - [Gastaut, 1970] GASTAUT, H. (1970). *Clinical and electroencephalographical classification*

- cation of epileptic seizures. *Epilepsia*.
- [Goldman, 1950] GOLDMAN, D. (1950). The clinical use of the "average" reference electrode in monopolar recording. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*.
  - [Hebert et Lehmann, 1977] HEBERT, R. et LEHMANN, D. (1977). Theta bursts : an EEG pattern in normal subjects practising the transcendental meditation technique. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*.
  - [Hjorth, 1975] HJORTH, B. (1975). An on-line transformation of EEG scalp potentials into orthogonal source derivations. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*.
  - [ILAE, 1981] ILAE, C. (1981). Proposal for revised clinical and electroencephalographic classification of epileptic seizures. *Epilepsia*.
  - [Jasper, 1958] JASPER, H. (1958). The ten-twenty electrode system of the international federation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*.
  - [Kuś et al., 2004] KUŚ, R., KAMIŃSKI, M. et BLINOWSKA, K. (2004). Determination of EEG activity propagation : pair-wise VS multichannel estimate. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*.
  - [Li et al., 2002] LI, Z., SILVA, A. et CUNHA, J. (2002). Movement quantification in epileptic seizures : A new approach to video-EEG analysis. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*.
  - [Malmivu et Plonse, 1995] MALMIVU, J. et PLONSE, R. (1995). *Bioelectromagnetism Principles and Applications of Bioelectric and Biomagnetic Fields*.
  - [Mizuki et al., 1980] MIZUKI, Y., TANAKA, M., ISOZAKI, H., NISHIJIMA, H. et INANAGA, K. (1980). Periodic appearance of theta rhythm in the frontal midline area during performance of a mental task. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*.
  - [Mueller, 2009] MUELLER, D. H. H. (2009). Brain waves. [drmueller-healthpsychology.com/What\\_is\\_AVE.html](http://drmueller-healthpsychology.com/What_is_AVE.html).
  - [Nunez et Srinivasan, 2006] NUNEZ, P. et SRINIVASAN, R. (2006). *Electric fields of the brain : the neurophysics of EEG*. Oxford University Press.
  - [Sanei et Chambers, 2007] SANEI, S. et CHAMBERS, J. (2007). *EEG signal processing*. John Wiley & Sons.
  - [Semah, 2007] SEMAH, F. (2007). La TEP et la TEMP pour l'étude des épilepsies. *Médecine Nucléaire*.
  - [Sturm et al., 2000] STURM, J., NEWTON, M., CHINVARUN, Y., BERLANGIERI, S. et BERKOVIC, S. (2000). Ictal SPECT and interictal PET in the localization of occipital lobe



epilepsy. *Epilepsia*.

- [Varela et al., 2001] VARELA, F., LACHAUX, J., RODRIGUEZ, E. et MARTINERIE, J. (2001). The brainweb : phase synchronization and large-scale integration. *Nature Reviews Neuroscience*.
- [Vespignani, 1998] VESPIGNANI, H. (1998). L'EEG, de la technique à la clinique. No vartis.
- [Wendling et al., 2001a] WENDLING, F., BARTOLOMEI, F., BELLANGER, F. et CHAUVEL, P. (2001a). Identification de réseaux épileptogènes par modélisation et analyse non linéaire des signaux SEEG. *Neurophysiologie Clinique*.
- [Yamaguchi et al., 2007] YAMAGUCHI, Y., SATO, N., WAGATSUMA, H., WU, Z., MOLTER, C. et AOTA, Y. (2007). A unified view of theta-phase coding in the entorhinal hippocampal system. *Current Opinion in Neurobiolog*